



**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**DESAIN *FAST DISPLACEMENT SHIP* UNTUK LOMBA  
KAPAL CEPAT PADA HYDROCONTEST**

**Pieter Mario Fernandez**  
**NRP 04111440000031**

**Dosen Pembimbing**  
**Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**  
**Gita Marina Ahadyanti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2018**





---

**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**DESAIN *FAST DISPLACEMENT SHIP* UNTUK LOMBA  
KAPAL CEPAT PADA HYDROCONTEST**

**Pieter Mario Fernandez  
NRP 04111440000031**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
Gita Marina Ahadyanti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



**FINAL PROJECT - MN 141581**

## **FAST DISPLACEMENT SHIP DESIGN FOR FAST SHIP COMPETITION AT HYDROCONTEST**

**Pieter Mario Fernandez  
NRP 04111440000031**

**Supervisor  
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
Gita Marina Ahadyanti, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2018**



## LEMBAR PENGESAHAN

### DESAIN *FAST DISPLACEMENT SHIP* UNTUK PERLOMBAAN KAPAL CEPAT PADA HYDROCONTEST

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**PIETER MARIO FERNANDEZ**  
NRP 04111440000031

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



Gita Marina Ahadyanti, S.T., M.T.  
NPP 1993201712045

Dosen Pembimbing I



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 20 JULI 2018



## LEMBAR REVISI

### DESAIN *FAST DISPLACEMENT SHIP* UNTUK PERLOMBAAN KAPAL CEPAT PADA HYDROCONTEST

#### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 20 Juli 2018

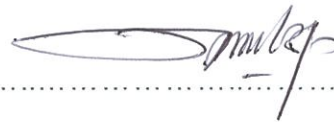
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**PIETER MARIO FERNANDEZ**  
NRP 04111440000031

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.



2. Hasanudin, S.T., M.T.

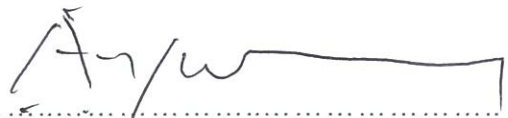


3. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.



2. Gita Marina Ahadyanti, S.T., M.T.



SURABAYA, 20 JULI 2018

Dipersembahkan kepada semua orang terdekat Penulis.

## KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang baik secara langsung dan tidak langsung telah berjasa dalam kehidupan perkuliahan Penulis dan dalam penulisan Tugas Akhir ini, khususnya kepada pihak-pihak berikut:

1. Papa, Mama, dan Kakak Penulis yang selalu mendukung Penulis sepanjang waktu dimanapun mereka berada.
2. Pak Wasis dan Bu Gita selaku dosen pembimbing yang sangat suportif selama Penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Teman-teman Departemen Hublu HIMATEKPAL yang menjadi rekan berorganisasi Penulis selama dua tahun kepengurusan dimana Penulis belajar bekerja keras dan profesional untuk mencapai tujuan bersama.
4. Teman-teman HYDRONE ITS angkatan pertama (kepengurusan 2016/2017) yang telah berjuang bersama dari awal pembentukan tim, menghadapi berbagai masalah, hingga akhirnya dapat mengikuti perlombaan di St-Tropez, Perancis dengan hasil yang baik dimana dalam kepengurusan ini Penulis memperoleh banyak sekali pelajaran berharga selain mengenai ilmu perkapalan.
5. Teman-teman HYDRONE ITS angkatan kedua (kepengurusan 2017/2018) yang terus berkoordinasi dengan Penulis selama penulisan Tugas Akhir ini dan sedang berjuang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dibanding kepengurusan sebelumnya.
6. Gerald & Dewi, Sasa, Kakak, Amanda, Fitri, dan semua teman-teman lain yang telah menjadi pendengar dan teman bercerita yang baik selama kehidupan perkuliahan Penulis.
7. Teman-teman angkatan P54 Deadrise dengan segala kebersamaan dan dukungan yang dilalui bersama.
8. Dosen penguji yang telah memberikan masukan yang berguna bagi Penulis untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 20 Juli 2018

Pieter Mario Fernandez

# **DESAIN *FAST DISPLACEMENT SHIP* UNTUK PERLOMBAAN KAPAL CEPAT PADA HYDRCONTEST**

Nama Mahasiswa : Pieter Mario Fernandez  
NRP : 0411144000031  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
2. Gita Marina Ahadyanti, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

HYDROCONTEST merupakan perlombaan kapal cepat dan efisien antar mahasiswa di tingkat internasional dalam format *race* menggunakan kapal yang didesain, diteliti, dan diproduksi sendiri oleh para mahasiswa. Melihat persaingan dan iklim riset dalam perlombaan serta berdasarkan hasil evaluasi dari keikutsertaan tim HYDRONE ITS dalam HYDROCONTEST 2017, dalam Tugas Akhir ini akan didesain sebuah kapal *fast displacement* yang akan digunakan untuk dua kategori perlombaan: *Lightweight Race* (waktu tercepat) dan *Long-Distance Race* (jarak tempuh terjauh) dalam HYDROCONTEST 2018. Proses desain kapal dalam Tugas Akhir ini akan dititikberatkan pada aspek performa kapal khususnya hambatan dan propulsi kapal agar kapal dapat memperoleh peringkat yang baik dalam kedua kategori perlombaan. Dilakukan analisa hambatan dengan *software* CFD pada beberapa variasi bentuk haluan lambung yaitu *conventional bow*, *vertical bow*, dan *axe bow* serta analisa pengaruh variasi panjang kapal 1.9 m, 2.2 m, dan 2.5 m terhadap hambatan kapal. Hasil analisa menunjukkan model kapal dengan *axe bow* memiliki hambatan terkecil dan model dengan panjang 2.5 m memiliki hambatan yang lebih kecil dibandingkan dengan panjang 1.9 m dan 2.2 m meskipun selisih hambatan dengan model 2.2 m sangat kecil. Menggunakan data *open water test propeller*, data hambatan kapal, dan data komponen elektrik, dilakukan optimisasi *pitch* dan *RPM propeller* sehingga kapal dapat mencapai kecepatan maksimum 5.25 m/s dan jarak tempuh terjauh sepanjang 24 kali panjang lintasan dalam waktu satu jam.

*Kata Kunci*—kapal cepat, hambatan, *CFD*, propulsi, optimisasi.

# **FAST DISPLACEMENT SHIP DESIGN FOR FAST SHIP COMPETITION AT HYDROCONTEST**

Author : Pieter Mario Fernandez  
Student Number : 4114100031  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : 1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
2. Gita Marina Ahadyanti, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

HYDROCONTEST is an international fast and efficient boat competition between students in the form of race using boats designed, researched, and produced by the students themselves. Considering the advance and the research atmosphere of the competition and based on the evaluation of Hydrone ITS team's participation in HYDRCONTEST 2017, a design of fast displacement ship is created for two categories of competition: Lightweight Race (fastest time trial) and Long-Distance Race (farthest distance). The design process in this final project is focused on the performance of the ship especially the resistance and propulsion so the ship would achieve good position in both categories of competition. Resistance analysis with *CFD* software has been done on several types of bow such as conventional bow, vertical bow, and axe bow. Analysis also has been done to find of the effect of ship's length of 1.9 m, 2.2 m, and 2.5 on the resistance of the ship. Results show that the model with axe bow has the lowest resistance and model with 2.5 m length has lower resistance than of the 1.9 m and 2.2 m model even though the resistance difference with the 2.2 m model is slight. Using the data of propeller's open water test, ship's resistance, and electrical components, propeller's pitch and RPM has been done so the ship will achieve 5.25 m/s of maximum speed and 24 laps of the track course in one hour for maximum distance.

*Key Words*—fast boat, resistance, *CFD*, propulsion, optimization.

## DAFTAR ISI

I.1.	Latar Belakang Masalah.....	1
I.2.	Perumusan Masalah.....	3
I.3.	Tujuan.....	3
I.4.	Batasan Masalah.....	3
I.5.	Manfaat.....	4
I.6.	Hipotesis.....	4
II.1.	Dasar Teori.....	5
II.1.1.	Ukuran Utama Kapal.....	5
II.1.2.	Koefisien Bentuk Badan Kapal.....	5
II.1.3.	Hambatan Kapal.....	7
II.1.4.	<i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i> .....	8
II.1.5.	<i>Karakteristik Propeller</i> .....	8
II.1.6.	Stabilitas Kapal.....	10
II.1.7.	Optimisasi.....	13
II.2.	Tinjauan Pustaka.....	14
II.2.1.	Kapal Tim HYDRONE ITS pada HYDROCONTEST 2017.....	14
II.2.2.	Data Kecepatan dan Jumlah Lap Kapal pada HYDROCONTEST 2017.....	16
II.2.3.	<i>Enlarged Ship Concept (ESC)</i> .....	18
II.2.4.	Pengaruh Bentuk Haluan pada Performa Kapal <i>Monohull</i> .....	19
II.2.5.	Pengaruh Posisi <i>Propeller Plane</i> pada Efisiensi <i>Propeller</i> .....	21
III.1.	Bagan Alir.....	23
III.2.	Tahap Pengerjaan.....	24
III.2.1.	Pengumpulan Data.....	24
III.2.2.	Studi Literatur.....	24
III.2.3.	Membuat <i>Lines Plan</i> dan Variasi Bentuk Lambung.....	24
III.2.4.	Analisa <i>CFD</i> .....	24
III.2.5.	Pemilihan Panjang Kapal Optimal.....	24
III.2.6.	Desain Sistem Propulsi dan <i>Steering Gear</i> .....	24
III.2.7.	Optimisasi Propulsi.....	25
III.2.8.	Membuat Model 3D dan <i>General Arrangement</i> .....	25
IV.1.	Analisa Perlombaan.....	27
IV.1.1.	Peraturan Perlombaan.....	27
IV.1.2.	Lintasan.....	27
IV.1.3.	Target Kecepatan Kapal.....	28
IV.2.	Desain Lambung Kapal.....	28
IV.2.1.	Pemilihan Tipe Kapal.....	28
IV.2.2.	Pemilihan Ukuran Utama Awal.....	29
IV.2.3.	Pembuatan Model Awal Lambung Kapal.....	30
IV.2.4.	Pembuatan Variasi Model Lambung Kapal.....	32
IV.3.	Analisa <i>CFD</i> .....	33
IV.3.1.	<i>Software CFD</i> .....	33
IV.3.2.	Langkah Pengerjaan.....	33
IV.3.3.	Hasil Simulasi <i>CFD</i> .....	36

IV.4.	Pemilihan Panjang Kapal Optimal .....	37
IV.5.	Sistem Propulsi.....	40
IV.5.1.	Motor Penggerak.....	40
IV.5.2.	<i>Propeller</i> .....	42
IV.5.3.	Pemosisian <i>Propeller</i> .....	45
IV.5.4.	Perancangan Sistem <i>Azimuth Propulsion</i> .....	46
IV.5.5.	Optimisasi <i>Pitch</i> dan <i>RPM Propeller</i> Watt & Sea.....	49
IV.6.	Pembuatan Model 3D, Pembuatan Rencana Umum, Pengecekan <i>Trim</i> , dan Pengecekan Stabilitas .....	53
IV.6.1.	Pembuatan Model 3D .....	53
IV.6.2.	Pengecekan <i>Trim</i> dan Stabilitas .....	54
IV.6.3.	Rencana Garis .....	57
IV.6.4.	Rencana Umum.....	58
IV.7.	Produksi Kapal .....	58
V.1.	Kesimpulan.....	61
V.2.	Saran.....	61
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS		
LAMPIRAN B LINES PLAN		
LAMPIRAN C GENERAL ARRANGEMENT		
LAMPIRAN D DATA OPEN WATER TEST PROPELLER		
BIODATA PENULIS		



## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Kapal <i>displacement catamaran</i> tim HYDRONE ITS. ....	2
Gambar II.1 Komponen hambatan total kapal (Bertram, 2000).....	7
Gambar II.2 Ilustrasi diagram KT, KQ, dan J (Molland, Wellicome, & Couser, 1994). ....	8
Gambar II.3 Kapal <i>wave piercing catamaran</i> HYDRONE ITS yang digunakan untuk <i>Lightweight Race</i> dan <i>Long-Distance Race</i> . ....	14
Gambar II.4 Kapal dibagi menjadi beberapa blok agar dapat dimuat dalam bagasi pesawat dan dirakit kembali di tempat perlombaan. ....	15
Gambar II.5 <i>Enlarged Ship Concept</i> (Keuning & Pinkster, 1995).....	19
Gambar II.6 Perbandingan hambatan <i>Enlarged Ship Concept</i> (Keuning & Pinkster, 1995). ..	20
Gambar II.7 <i>Lines plan</i> model dengan modifikasi bentuk haluan (Keuning, Toxopeus, & Pinkster, 1997).....	20
Gambar II.8 Perbandingan <i>body plan</i> dan <i>sheer plan</i> model asli <i>SPUB</i> , model dengan <i>X-bow</i> , dan model dengan <i>Axe bow</i> (Dahna, 2018) .....	21
Gambar II.9 Analisa kecepatan aliran air yang melalui <i>propeller plane</i> pada kapal dengan <i>tunnel stern</i> (Sid'qon, 2015). ....	22
Gambar III.1 Bagan alir pengerjaan Tugas Akhir. ....	23
Gambar IV.1 <i>Body plan</i> Marin Fast Displacement Hull Form (kiri) (MARIN) dan <i>body plan</i> model awal lambung kapal (kanan). ....	31
Gambar IV.2 <i>Sectional Area Curve</i> model awal lambung kapal. ....	32
Gambar IV.3 Model awal lambung kapal. ....	32
Gambar IV.4 Desain lambung dengan haluan konvensional. ....	33
Gambar IV.5 Desain lambung dengan <i>Axe bow</i> .....	33
Gambar IV.6 Geometri model untuk simulasi <i>CFD</i> .....	34
Gambar IV.7 Hasil <i>meshing</i> model. ....	35
Gambar IV.8 Grafik <i>grid independency</i> simulasi <i>CFD</i> .....	35
Gambar IV.9 Visualisasi permukaan bebas pada model haluan konvensional (kiri atas), vertical bow (kanan atas), dan <i>Axe bow</i> (bawah). Gradasi warna pada permukaan air mengindikasikan tinggi gelombang relatif terhadap sarat kapal. ....	36
Gambar IV.10 Perbandingan hambatan 3 variasi model. ....	37
Gambar IV.11 Batasan prediksi hambatan pada Maxsurf Resistance.....	39
Gambar IV.12 Pemilihan metode analisa hambatan kapal pada Maxsurf Resistance.....	39
Gambar IV.13 Analisa <i>free surface</i> pada Maxsurf Resistance.....	39
Gambar IV.14 Perbandingan hasil analisa hambatan kapal dengan <i>CFD</i> dan metode <i>Slender</i> <i>Body</i> . ....	40
Gambar IV.15 Perbandingan hambatan model kapal dengan panjang 1.9, 2.2, dan 2.5 meter berdasarkan analisa menggunakan Maxsurf Resistance.....	40
Gambar IV.16 Watt & Sea POD 1400W/36V.....	41
Gambar IV.17 <i>Electronic Speed Controller</i> .....	42
Gambar IV.18 Watt & Sea <i>Adjustable Pitch Propeller</i> .....	42
Gambar IV.19 Data <i>open water test propeller</i> Watt & Sea.....	43
Gambar IV.20 Diagram karakteristik <i>propeller</i> dengan <i>pitch</i> 120 mm (kiri) dan 147 mm (kanan). ....	43
Gambar IV.21 Diagram karakteristik <i>propeller</i> dengan <i>pitch</i> 178 mm. ....	44

Gambar IV.22 Torqeedo v10/p350 Ultralight .....	44
Gambar IV.23 Kecepatan aliran air di sekitar lambung kapal berdasarkan hasil simulasi <i>CFD</i> . Warna biru tua mengindikasikan kecepatan aliran tertinggi (5 m/s) dan warna merah muda mengindikasikan kecepatan aliran air terendah (0 m/s). .....	46
Gambar IV.24 SAVOX SW-0241MG.....	47
Gambar IV.25 Sistem <i>azimuth propulsion</i> dimana <i>servo</i> memutar motor, <i>propeller</i> , dan <i>rudder</i> sekaligus untuk mengubah arah <i>thrust</i> dan membelokkan kapal. ....	48
Gambar IV.26 Program untuk <i>looping</i> variasi <i>RPM</i> .....	49
Gambar IV.27 Data KT, KQ, dan J dalam bentuk grafik. ....	50
Gambar IV.28 Grafik hambatan total kapal. ....	51
Gambar IV.29 Diagram alir optimisasi pemilihan <i>pitch</i> dan <i>RPM</i> .....	52
Gambar IV.30 Grafik kecepatan kapal terhadap <i>RPM</i> pada tiga variasi <i>pitch</i> .....	52
Gambar IV.31 Grafik jumlah lap maksimum terhadap <i>RPM</i> pada tiga variasi <i>pitch</i> . ....	53
Gambar IV.32 Pengaturan tata letak komponen kapal pada <i>software</i> Rhino. ....	54
Gambar IV.33 Model 3D kapal setelah proses <i>rendering</i> . ....	55
Gambar IV.34 Model 3D kapal setelah proses <i>rendering</i> dengan tambahan <i>environment</i> . ....	55
Gambar IV.35 <i>Loadcase</i> kapal final. ....	56
Gambar IV.36 Pengujian <i>large angle stability</i> untuk memperoleh kurva GZ. ....	56
Gambar IV.37 Kurva GZ kapal. ....	57
Gambar IV.38 Salah satu anggota tim HYDRONE ITS menguji stabilitas kapal di Kolam 8 ITS. Kapal selalu kembali ke posisi tegak dengan cukup cepat setelah dimiringkan. ....	57
Gambar IV.39 Rencana garis M.V. Hydrone 2018 .....	58
Gambar IV.40 Rencana umum. ....	58
Gambar IV.41 Kerangka cetakan lambung kapal.....	59
Gambar IV.42 Cetakan positif.....	59
Gambar IV.43 Lambung kapal hasil cetakan setelah permukaannya dihaluskan. ....	60
Gambar IV.44 Pengecatan kapal. ....	60
Gambar V.1 Pengaruh variasi B/T dan C <sub>b</sub> pada performa kapal (MARIN). ....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Data peringkat tim pada kategori <i>Lightweight Race</i> dalam HYDROCONTEST 2017. ....	16
Tabel II.2 Data peringkat tim pada kategori perlombaan <i>Long-Distance Race</i> dalam HYDROCONTEST 2017. ....	17
Tabel IV.1 Perbedaan Kategori Perlombaan <i>Lightweight Race</i> dan <i>Long-Distance Race</i> . ....	27
Tabel IV.2 Syarat yang harus dipenuhi kapal untuk mengikuti perlombaan .....	28
Tabel IV.3 Tipe kapal pada peringkat 4 besar kategori <i>Lightweight Race</i> .....	29
Tabel IV.4 Tipe kapal pada peringkat 4 besar kategori <i>Long-distance Race</i> .....	29
Tabel IV.5 Ukuran utama awal kapal.....	30
Tabel IV.6 Ukuran <i>enclosure</i> untuk analisa <i>CFD</i> . ....	34
Tabel IV.7 <i>Grid Independency</i> simulasi <i>CFD</i> . ....	35
Tabel IV.8 Perbandingan hambatan 3 variasi model.....	37
Tabel IV.9 Perbandingan model untuk optimisasi panjang kapal. ....	38
Tabel IV.10 Pemilihan <i>pitch</i> dan <i>RPM</i> untuk <i>race</i> berdasarkan hasil optimisasi. ....	53

## DAFTAR SIMBOL

$A_{WP}$	= Luas area <i>water plane</i> ( $m^2$ )
$A_M$	= Luas area <i>midship</i> ( $m^2$ )
$C_B$	= Koefisien Blok
$C_M$	= Koefisien <i>Midship</i>
$C_P$	= Koefisien Prismatic
$C_{WP}$	= Koefisien <i>water plane</i>
$F_n$	= <i>Froud Number</i>
$\Delta$	= <i>Displacement</i> (ton)
$\nabla$	= <i>Volume displacement</i> (ton)
$\rho$	= Massa jenis ( $kg.m^{-3}$ )
LCB	= Titik berat memanjang <i>Buoyancy</i> (m)
LCG	= Titik berat memanjang kapal (m)
$R_T$	= Hambatan total (N)
$R_V$	= Hambatan viskos (N)
$R_W$	= Hambatan gelombang (N)
$R_A$	= Hambatan udara (N)
$S_{Tot}$	= Luas permukaan basah ( $m^2$ )
$S_{app}$	= Luas permukaan tambahan ( $m^2$ )
$C_F$	= Koefisien gesek
$D$	= Diameter <i>propeller</i> (m)
$V_s$	= Kecepatan kapal ( $m.s^{-1}$ )
$V_a$	= <i>Velocity of advance</i> ( $m.s^{-1}$ )
$J$	= <i>Propeller advance coefficient</i>
$n$	= Jumlah putaran <i>propeller</i> per detik
$T$	= <i>Propeller thrust</i>
$Q$	= <i>Propeller torque</i>
$K_T$	= <i>Propeller thruste coefficient</i>
$K_Q$	= <i>Propeller torque coefficient</i>
$I$	= Kuat arus (A)
$V$	= Tegangan (Volt)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

HYDROCONTEST merupakan perlombaan pengembangan *prototype* kapal berefisiensi tinggi antar mahasiswa di tingkat internasional. Perlombaan ini diadakan oleh HYDROS Foundation setiap tahun sejak tahun 2014 dan diikuti oleh puluhan tim mahasiswa dari belasan negara. Adapun tujuan utama dari perlombaan ini adalah mendorong pelajar untuk turut berpartisipasi dalam mengembangkan inovasi yang dapat diterapkan pada dunia perkapalan dari segi efisiensi. Dengan tujuan tersebut, tidak jarang HYDROCONTEST dimanfaatkan oleh peserta perlombaan sebagai sarana riset dan uji coba yang dapat dibandingkan dengan hasil riset peserta lain yang menjadikan perlombaan ini memiliki atmosfer inovasi yang sangat baik.

Format perlombaan yang diadakan oleh HYDROS Foundation ini berupa *race* menggunakan kapal yang didesain, diteliti, dan diproduksi sendiri oleh para mahasiswa. Konsep dan desain kapal yang digunakan oleh setiap peserta adalah sebebas-bebasnya selama tidak melebihi batasan ukuran maksimal serta menggunakan motor penggerak dan baterai yang disediakan penyelenggara perlombaan. Perlombaan utama dalam HYDROCONTEST dibagi menjadi 3 kategori, yaitu *Lightweight Race* dimana kapal harus menyelesaikan lintasan dengan mengangkut beban seberat 20 kg dalam waktu sesingkat mungkin, *Heavyweight Race* dimana kapal harus menyelesaikan lintasan dengan mengangkut beban seberat 200 kg dalam waktu sesingkat mungkin, serta *Long-Distance Race* dimana kapal harus menyelesaikan lintasan dengan jumlah putaran sebanyak mungkin dengan mengangkut beban seberat 20 kg tanpa mengisi ulang baterai. Setiap tim diperbolehkan membuat 2 kapal untuk ketiga kategori tersebut dikarenakan perbedaan berat muatan yang besar antara *Heavyweight Race* dan dua kategori perlombaan lainnya.

Pada September 2017, tim HYDRONE ITS dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember berpartisipasi dalam HYDROCONTEST sebagai pendatang baru dan menjadi perwakilan Indonesia bersama tim HYDROS UI dari Universitas Indonesia (keikutsertaan kedua). Pada keikutsertaan pertama ini, tim HYDRONE ITS menggunakan *prortotype* berupa *displacement catamaran* untuk mengikuti kategori perlombaan *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race*

serta kapal *trimaran* untuk mengikuti kategori perlombaan *Heavyweight Race*. Peringkat yang diperoleh pada saat itu (dari 23 tim) adalah peringkat 10 untuk kategori *Lightweight Race*, peringkat 14 untuk kategori *Heavyweight Race*, dan peringkat 15 untuk kategori *Long-Distance Race*. Kegagalan sistem elektrik dan kebocoran kapal dilaporkan sebagai kendala utama tim selama perlombaan berlangsung (HYDRONE ITS, 2017). Untuk performa kapal sendiri, tim HYDRONE ITS dinilai sudah cukup baik sebagai pendatang baru khususnya pada kategori *Lightweight Race*.



Gambar I.1 Kapal *displacement catamaran* tim HYDRONE ITS.

Berdasarkan pengalaman pada keikutsertaan tersebut, terdapat banyak evaluasi dan rencana pengembangan agar tim dapat bersaing dengan performa yang lebih baik di keikutsertaan berikutnya. Evaluasi dan rencana pengembangan ini meliputi pengembangan desain lambung kapal yang lebih efisien, peningkatan efisiensi sistem propulsi, perbaikan sistem *steering gear* agar kapal memiliki *maneuvering* yang lebih baik, peningkatan kualitas produksi kapal, serta perbaikan sistem elektrik. Tim HYDRONE ITS juga memiliki rencana jangka panjang berupa pengembangan *hydrofoil* pada kapal yang akan membutuhkan penelitian lebih lanjut.

Melihat banyaknya aspek yang harus dikembangkan oleh tim serta manfaat dari perlombaan HYDROCONTEST sendiri, penulis merasa bahwa *event* ini dapat menjadi sarana bagi penulis untuk mengembangkan desain kapal yang efisien, melakukan penelitian, serta turut berkontribusi dalam pengembangan tim HYDRONE ITS (penulis masih merupakan bagian dari tim saat Tugas Akhir ini dibuat). Dalam Tugas Akhir ini, akan didesain kapal yang akan digunakan untuk kategori perlombaan *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race* (satu kapal untuk dua kategori perlombaan) yang akan digunakan tim HYDRONE ITS pada

HYDROCONTEST 2018. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, terus dilakukan komunikasi antara penulis dan tim HYDRONE ITS untuk menghasilkan desain kapal dengan performa yang optimal dan memastikan adanya sinergi antara proses desain dan proses produksi mengingat keduanya dilakukan secara paralel.

### **I.2. Perumusan Masalah**

1. Bagaimanakah desain kapal yang memiliki performa keseluruhan yang baik untuk perlombaan HYDROCONTEST?
2. Bagaimanakah desain lambung kapal yang memiliki efisiensi tinggi?
3. Bagaimanakah cara optimisasi sistem propulsi agar kapal memiliki kecepatan dan efisiensi yang tinggi?
4. Bagaimanakah desain sistem *steering gear* agar kapal memiliki *maneuvering* yang baik?

### **I.3. Tujuan**

Tujuan utama dari Tugas Akhir ini adalah mendesain *fast displacement ship* yang akan digunakan untuk perlombaan HYDROCONTEST 2018 dalam kategori *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race* yang meliputi:

1. Mendesain lambung *fast displacement ship* dengan performa yang baik terutama dari segi hambatan kapal.
2. Melakukan analisa *CFD* untuk membandingkan besar hambatan dari variasi bentuk lambung yang dibuat.
3. Membandingkan hambatan kapal pada beberapa variasi panjang kapal.
4. Membuat rencana garis (*lines plan*).
5. Membuat rencana umum (*general arrangement*).
6. Melakukan optimisasi pemilihan parameter pada sistem propulsi (*pitch propeller* dan *RPM* motor) untuk memperoleh kecepatan maksimum pada *Lightweight Race* dan jarak maksimum pada *Long-Distance Race*.
7. Membuat gambar *3D Model*.

### **I.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Tidak dilakukan perhitungan kekuatan konstruksi kapal.
2. Beberapa komponen elektrik telah ditentukan oleh panitia perlombaan.

### **I.5. Manfaat**

1. Tugas Akhir ini menjadi sarana riset dan pengembangan desain kapal cepat dengan performa yang baik khususnya dari segi efisiensi.
2. *Output* berupa desain kapal dari Tugas Akhir digunakan oleh tim Hydrone ITS untuk perlombaan HYDROCONTEST 2018 sehingga terdapat kerja sama yang saling menguntungkan antara penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir dan tim HYDRONE ITS dalam meningkatkan performa kapalnya.
3. Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan gambaran kepada mahasiswa lain mengenai tujuan, proses pengerjaan, dan manfaat dari Tugas Akhir yang berhubungan langsung dengan tim dan perlombaan yang bergerak di bidang yang relevan dengan ilmu perkapalan dimana hal ini masih tidak familiar di kalangan mahasiswa Departemen Teknik Perkapalan ITS.

### **I.6. Hipotesis**

Dari Tugas Akhir ini akan dihasilkan desain *fast displacement ship* dengan performa yang baik yang akan digunakan tim HYDRONE ITS untuk perlombaan HYDRCONTEST 2018 pada kategori *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race*.



## BAB II STUDI LITERATUR

### II.1. Dasar Teori

#### II.1.1. Ukuran Utama Kapal

Ukuran utama kapal diwakili dengan nilai-nilai sebagai berikut.

- a. LOA (*Length Overall*) merupakan panjang keseluruhan kapal yang diukur secara horizontal dari titik depan terluar hingga titik belakang terluar kapal (meliputi bagian di atas dan di bawah garis air).
- b. LWL (*Length Waterline*) merupakan panjang garis air kapal dari ujung belakang hingga ujung depan diukur pada sarat kapal.
- c. Bm (*Breadth Moulded*) merupakan lebar terbesar diukur dari bidang tengah kapal. Untuk kapal baja dan logam lainnya, *breadth moulded* diukur tanpa kulit, sedangkan untuk kapal kayu atau berbahan non-logam diukur dari jarak antara dua sisi terluar kulit kapal.
- d. H (*Height*) yaitu jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal dari atas lunas hingga sisi atas geladak di sisi kapal.
- e. T (*draught*) yaitu jarak tegak yang diukur dari sisi atas lunas hingga ke permukaan air.

#### II.1.2. Koefisien Bentuk Badan Kapal

Perhitungan koefisien bentuk badan kapal yang dianalisis meliputi nilai koefisien blok ( $C_B$ ), koefisien *midship* ( $C_M$ ), koefisien prisma ( $C_P$ ), koefisien *waterplan* ( $C_{WP}$ ), LCB dan juga *displacement*.

- a. Koefisien blok ( $C_B$ )

Koefisien blok adalah perbandingan volume antara badan kapal yang tercelup air dengan volume balok yang memiliki dimensi  $L \times B \times H$  kapal.

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T} \quad (\text{II.1})$$

b. Koefisien *midship* ( $C_M$ )

Koefisien *midship* merupakan perbandingan antara luas penampang di bagian tengah kapal (*midship*) yang tercelup ke air dengan luas persegi yang memiliki ukuran  $B \times T$ . Untuk mencari nilai  $C_M$  bisa dilakukan dengan persamaan di bawah.

$$C_M = \frac{A_M}{B \cdot T} \quad (\text{II. 2})$$

c. Koefisien prismatic ( $C_P$ )

Koefisien prismatic adalah perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup di dalam air dengan volume prisma segi empat yang memiliki luas penampang gading terbesar dan panjang  $L$ .

$$C_P = \frac{\nabla}{A_M \cdot L} \quad (\text{II. 3})$$

Selain dengan persamaan di atas, nilai  $C_P$  dapat dicari dengan perbandingan nilai  $C_B$  dengan  $C_M$ .

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} \quad (\text{II. 4})$$

d. Koefisien *waterplan* ( $C_{WP}$ )

Koefisien *waterplan* merupakan perbandingan luas bidang air pada sarat kapal dengan luas persegi yang memiliki dimensi  $L_{wl} \times B$ . Nilai  $C_{WP}$  dapat dicari dengan persamaan,

$$C_{WP} = \frac{A_{WP}}{L_{WL} \cdot B} \quad (\text{II. 5})$$

e. LCB

LCB merupakan posisi memanjang dari titik gaya apung (*buoyancy*). Nilai LCB dapat bernilai positif maupun negatif dari titik tengah kapal (*midship*) yang mempengaruhi hambatan kapal dan juga trim (Parsons, 2001).

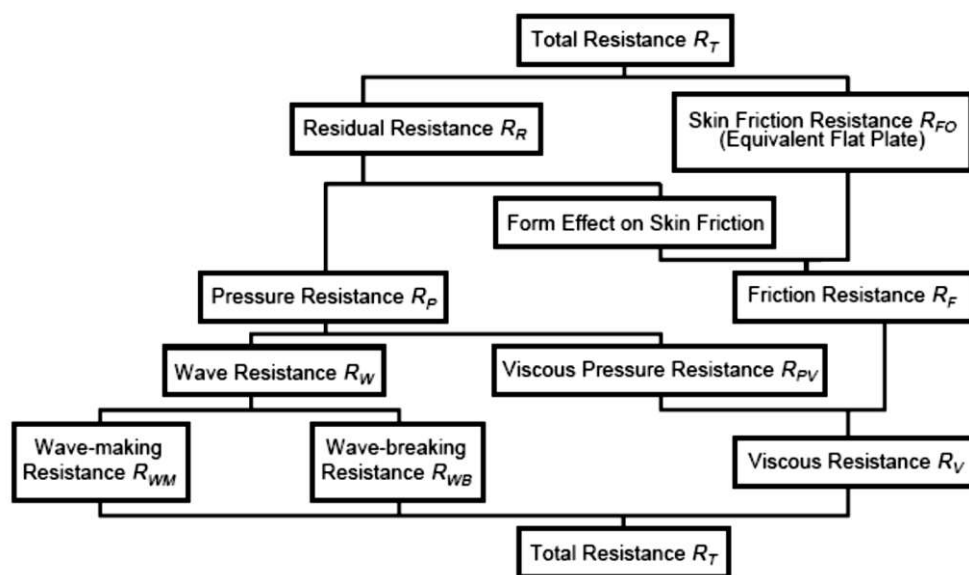
f. *Displacement*

*Displacement* adalah berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang merupakan hasil konversi dari volume air yang dipindahkan (*volume displacement*) menjadi satuan massa (ton).

$$\Delta = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \text{ [ton]} \quad (\text{II.6})$$

### II.1.3. Hambatan Kapal

Hambatan kapal dapat diartikan sebagai gaya yang bekerja melawan arah gerak kapal. Gaya ini diakibatkan karena terjadinya kontak langsung antara badan kapal dan fluida yang dilewatinya (air dan udara). Besarnya hambatan suatu kapal dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu bentuk kapal, luas permukaan basah, kekasaran permukaan kapal, jenis fluida, dan kecepatan kapal.



Gambar II.1 Komponen hambatan total kapal (Bertram, 2000)

Besar hambatan total kapal akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal hingga pada kecepatan tertentu peningkatan hambatan akan sangat besar dengan kenaikan kecepatan yang tidak begitu signifikan. Secara umum, hambatan total dihitung dengan menghitung komponen-komponennya seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.1. Rumusan hambatan total dapat ditulis melalui persamaan berikut.

$$R_T = R_V + R_W + R_A \quad (\text{II.7})$$

dimana:

- $R_T$  = Hambatan Total
- $R_V$  = Hambatan Viskos
- $R_W$  = Hambatan Gelombang Kapal
- $R_A$  = Hambatan Udara

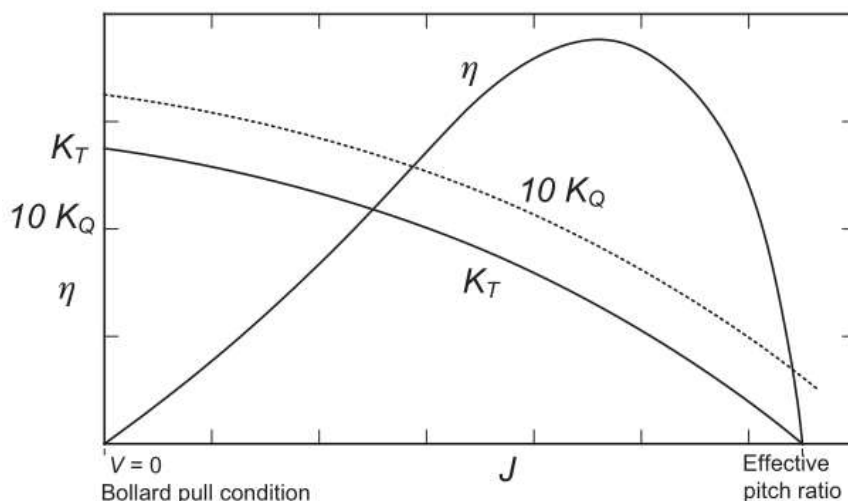
#### II.1.4. Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD merupakan metode numerik yang digunakan untuk melakukan perhitungan, prediksi, dan pendekatan aliran fluida dengan bantuan perangkat lunak (*software*) pada computer. CFD melakukan pendekatan dengan metode numerik serta menggunakan persamaan-persamaan fluida. Dalam proses analisisnya, CFD menggunakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, hukum kekekalan momentum, serta hukum kekekalan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika, yaitu:

- Hukum Kekekalan Massa (*The Conservation of Mass*)
- Hukum Kedua Newton (*Newton's Second Law of Motion*)
- Hukum Kekekalan Energi

#### II.1.5. Karakteristik Propeller

Karakteristik *propeller* disajikan dalam diagram KT, KQ, dan J yang diperoleh dari hasil *open water test* (pengujian *propeller* tanpa melibatkan lambung kapal). Data dari diagram ini dapat digunakan untuk memperoleh besarnya *thrust*, torsi, dan efisiensi dari *propeller* pada berbagai kecepatan dan RPM. Salah satu kelebihan dari diagram ini dibanding dengan diagram CT, CQ, dan J adalah diagram juga menunjukkan data pada saat kecepatan sama dengan nol yang akan berguna pada saat *bollard test*.



Gambar II.2 Ilustrasi diagram KT, KQ, dan J (Molland, Wellicome, & Couser, 1994).

Adapun definisi dan nilai dari masing-masing variabel dalam diagram KT, KQ, dan J adalah sebagai berikut.

- a. *Advance coefficient* (J)

Merupakan koefisien yang menunjukkan kecepatan aliran air relatif terhadap kecepatan putaran dan ukuran *propeller*.

$$J = \frac{Va}{n \cdot D} \quad (\text{II. 8})$$

dimana

$$n = \frac{RPM}{60} \quad (\text{II. 9})$$

b. *Thrust coefficient* (KT)

Koefisien yang digunakan untuk menghitung besarnya *thrust* pada nilai J tertentu.

$$KT = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (\text{II. 10})$$

c. *Torque coefficient* (KQ)

Koefisien yang digunakan untuk menghitung besarnya torsi pada nilai J tertentu yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan daya.

$$KQ = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \quad (\text{II. 11})$$

dimana

$$\text{Required Power} = \frac{2\pi \cdot n \cdot Q}{\text{motor efficiency}} = I \times V \quad (\text{II. 12})$$

d. Efisiensi

Merupakan angka yang menunjukkan besarnya daya yang dihasilkan oleh *propeller* relatif terhadap daya yang diterima oleh *propeller* (daya *output* per daya *input*).

$$\eta_0 = \frac{T \cdot Va}{2\pi \cdot n \cdot Q} \quad (\text{II. 13})$$

atau

$$\eta_0 = \frac{J \cdot KT}{2\pi \cdot KQ} \quad (\text{II. 14})$$

### II.1.6. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi keseimbangan (upright) pada kondisi air tenang saat kapal tersebut mengalami gangguan. Secara umum hal-hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar yaitu:

- a. Faktor internal yaitu tata letak muatan, bentuk ukuran kapal, dan kebocoran karena kandas atau tubrukan.
- b. Faktor eksternal berupa angin, ombak, arus, dan badai

Titik-titik penting stabilitas kapal antara lain adalah:

- a. KM (tinggi titik metasentris di atas lunas)

KM adalah jarak tegak dari lunas kapal sampai ke titik M atau jumlah jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentris (BM).

- b. KB (tinggi titik apung dari lunas)

Merupakan jarak antara titik lunas ke titik gaya apung yang selalu berubah tergantung pada kemiringan kapal.

- c. BM (jarak titik apung ke metasentris)

BM dinamakan jari-jari metasentris atau metacentris radius karena bila kapal mengoleng pada sudut yang kecil, maka lintasan pergerakan titik B merupakan sebagian busur lingkaran dimana M merupakan titik pusatnya dan BM sebagai jari-jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil.

- d. KG (tinggi titik berat dari lunas)

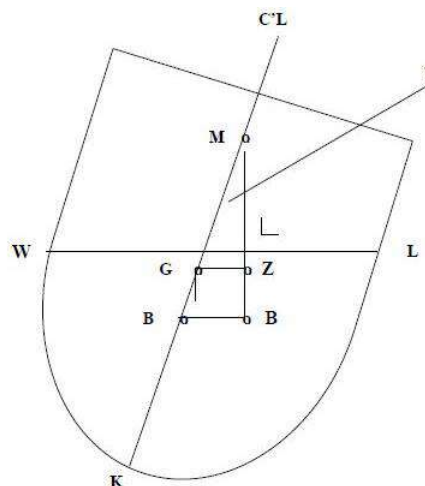
Nilai KB untuk kapal kosong diperoleh dari percobaan stabilitas (*inclining experiment*), selanjutnya KG dapat dihitung dengan menggunakan persamaan momen. Nilai KG dengan persamaan momen ini digunakan bila terjadi pemuatan atau pembongkaran di atas kapal dengan mengetahui letak titik berat suatu objek di atas lunas yang disebut dengan *vertical centre of gravity* (VCG) lalu dikalikan dengan massa objek tersebut sehingga diperoleh momen objek tersebut, selanjutnya jumlah momen-momen seluruh objek di kapal dibagi dengan jumlah objek menghasilkan nilai KG pada kapal.

e. GM (tinggi metasentris)

Tinggi metasentris atau *metacentris high* (GM) merupakan jarak tegak antara titik G dan titik M.

f. Momen penegak (*righting moment*) dan lengan penegak (*righting arms*)

Momen penegak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke kedudukan tegaknya setelah kapal miring karena gaya-gaya dari luar dan gaya-gaya tersebut tidak bekerja lagi (Rubianto, 1996). Momen penegak atau lengan penegak pada saat kapal miring, maka titik B pindah ke B1, sehingga garis gaya berat bekerja ke bawah melalui G dan gaya keatas melalui B1. Titik M merupakan busur dari gaya-gaya tersebut.

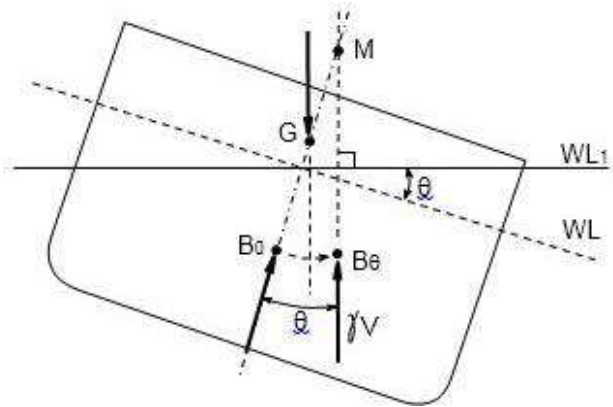


Gambar II. 1 Ilustrasi momen penegak pada kapal (Romadhana, 2016).

Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu :

a. Stabilitas positif (*stable equilibrium*)

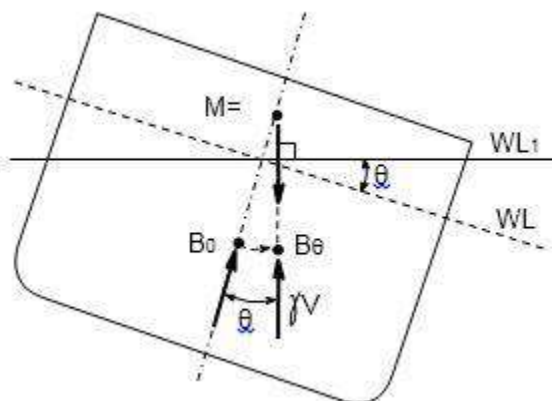
Suatu keadaan dimana titik G-nya berada di atas titik M sehingga sebuah kapal memiliki kemampuan untuk menegak kembali.



Gambar II. 2 Kondisi stabilitas positif (Romadhana, 2016).

b. Stabilitas netral (*neutral equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu mengalami *heeling*. Dengan kata lain bila kapal miring, maka tidak ada MP maupun momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut *heeling* yang sama. Penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.



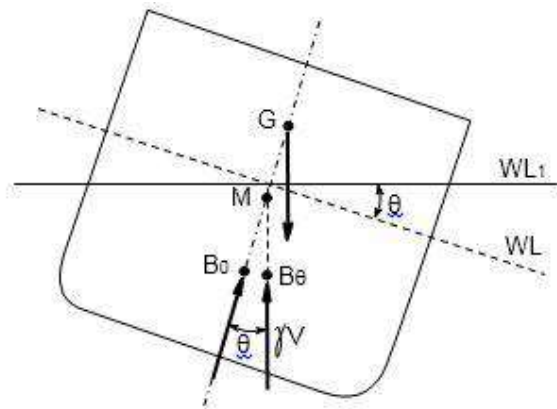
Gambar II. 3 Kondisi stabilitas netral (Romadhana, 2016).

c. Stabilitas negatif (*unstable equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu *heeling* tidak memiliki kemampuan



untuk menegak kembali bahkan sudut *heeling*-nya akan bertambah besar yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik.



Gambar II. 4 Kondisi stabilitas negatif (Romadhana, 2016).

### II.1.7. Optimisasi

Optimisasi merupakan proses mendapatkan hasil yang lebih baik (maksimum atau minimum) dari beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan yang diberikan (Setijoprajudo, 1999). Optimisasi dilakukan ketika terdapat banyak kemungkinan hasil yang nilainya saling berdekatan satu sama lain. Dalam suatu proses optimisasi selalu melibatkan hal-hal berikut, yaitu:

a. Variabel

Merupakan nilai yang akan dicari dalam proses optimisasi

b. Parameter

Merupakan nilai yang tidak berubah dalam suatu proses optimisasi akibat syarat-syarat tertentu.

c. Konstanta

Merupakan nilai yang tidak berubah dan berlaku selamanya.

d. Batasan

Merupakan batas-batas yang ditentukan oleh perencanaan, situasi, maupun persyaratan lainnya.

e. Fungsi objektif

Merupakan hubungan antara semua atau beberapa variabel serta parameter yang harganya akan dioptimalkan.

## II.2. Tinjauan Pustaka

### II.2.1. Kapal Tim HYDRONE ITS pada HYDROCONTEST 2017

#### a. Konsep desain

Kapal yang digunakan oleh Tim HYDRONE pada HYDROCONTEST 2017 adalah *wave-piercing catamaran* dengan *demihull* yang simetris. Pada kapal ini, beban dan komponen elektrik diposisikan di atas *bridge* yang menghubungkan kedua *demihull*. Kapal memiliki *freeboard* yang cukup tinggi serta *spray rails* untuk mencegah air naik ke geladak. Untuk sistem propulsinya, kapal ini menggunakan *azimuth propulsion* dimana motor dan *propeller* dapat berotasi pada sumbu vertikal sehingga sistem propulsi juga berfungsi untuk membelokkan kapal. Mengingat biaya pengiriman kapal ke tempat perlombaan yang cukup mahal apabila menggunakan kontainer atau pesawat (dalam bentuk paket), kapal dirancang menjadi 6 blok yang dapat dimasukkan kedalam beberapa *box* sebagai bagasi pesawat yang kemudian dirakit kembali di tempat perlombaan.



Gambar II.3 Kapal *wave piercing catamaran* HYDRONE ITS yang digunakan untuk *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race*.



Gambar II.4 Kapal dibagi menjadi beberapa blok agar dapat dimuat dalam bagasi pesawat dan dirakit kembali di tempat perlombaan.

b. Ukuran utama dan koefisien

- LOA : 2.3 m
- LWL : 2.2 m
- $b$  (*demihull*) : 0.12 m
- T : 0.15 m
- H : 0.4 m
- S/L : 0.5
- LWT : 28 kg
- $L/\Delta^{1/3}$  (*demihull*) : 7.8

c. Performa kapal

Kapal ini memiliki catatan waktu terbaik yaitu 1 menit 9 detik untuk lintasan *Lightweight Race* dengan panjang lintasan 200 meter sehingga kecepatan rata-rata terbaik kapal ini adalah 2.88 m/s. Kapal memiliki stabilitas yang baik karena merupakan kapal *multihull* sekalipun pada kondisi air yang bergelombang. Hal yang menjadi bahan evaluasi untuk kapal ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. Lambung kapal terlalu berat sehingga sarat kapal tidak sesuai dengan desain awal dan hambatan kapal bertambah.
2. *Thrust* dari *propeller* memiliki jarak vertikal yang cukup jauh dari titik berat kapal karena posisi *propeller* yang terlalu rendah dan posisi beban berada di atas geladak sehingga kapal mengalami *trim* saat *propeller* menghasilkan *thrust*.

3. *Propeller pitch* dan *RPM* motor tidak dioptimisasi.
4. Instalasi sistem *steering gear* yang tidak efektif sehingga kapal sulit untuk ber-*maneuver*.
5. Kerap terjadi kegagalan pada sistem elektrik sehingga kapal beberapa kali berhenti di tengah perlombaan khususnya pada *Long-Distance Race*.

### II.2.2. Data Kecepatan dan Jumlah Lap Kapal pada HYDROCONTEST 2017

Pada Tabel II.1 dan Tabel II.2 dapat dilihat data peringkat tim pada tahap kualifikasi *Lightweight Race* serta data peringkat tim pada kategori *Long-Distance Race* dalam HYDROCONTEST 2017. Data ini dapat digunakan untuk menentukan target kecepatan dan jumlah lap yang harus ditempuh kapal yang akan didesain dalam Tugas Akhir ini.

Tabel II.1 Data peringkat tim pada kategori *Lightweight Race* dalam HYDROCONTEST 2017.

Final Ranking	University	Country	Qualification Time	Average Speed (m/s)	Remarks
1	HAUTE ÉCOLE D'INGÉNIERIE ET D'ARCHITECTURE FRIBOURG	Switzerland	00:45.8	4.37	4th Participation
2	UNIVERSITY OF BELGRADE	Serbia	00:49.6	4.03	1st Participation
3	HAUTE ÉCOLE D'INGÉNIERIE DU CANTON DE VAUD	Switzerland	00:52.2	3.83	2nd Participation
6	UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON	UK	00:55.0	3.64	3rd Participation
5	ECOLE CENTRALE DE NANTES	France	00:55.1	3.63	3rd Participation
9	UNIVERSITY OF RIJEKA	Croatia	00:56.9	3.51	3rd Participation
13	ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE MARITIME - MARSEILLE	France	01:01.0	3.28	4th Participation
7	UNIVERSITAS INDONESIA	Indonesia	01:02.2	3.22	2nd Participation
14	NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	Norway	01:03.9	3.13	2nd Participation
8	ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE	Switzerland	01:05.2	3.07	4th Participation

10	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Indonesia	01:09.4	2.88	1st Participation
11	ESCUELA NAVAL DE CADETES - UNIVERSIDAD NACIONAL BOGOTA	Colombia	01:13.0	2.74	2nd Participation
15	UNIVERSITY OF MONTPELLIER	France	01:17.8	2.57	2nd Participation
12	ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES DE PARIS	France	01:35.7	2.09	1st Participation
16	TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID	Spain	01:35.7	2.09	2nd Participation
17	UNIVERSITY COLLEGE OF LONDON	UK	01:39.8	2.00	2nd Participation
18	UNIVERSITÉ LE HAVRE NORMANDIE	France	01:40.0	2.00	1st Participation
20	SEATECH - UNIVERSITÉ DE TOULON	France	01:54.0	1.75	4th Participation
19	FEDERAL UNIVERSITY OF PERNAMBUCO	Brazil	01:57.5	1.70	3rd Participation
22	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 1	Peru	0	0.00	1st Participation
23	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 2	Peru	0	0.00	1st Participation
4	NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS	Greece	0	0.00	2nd Participation
21	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLIN	Colombia	0	0.00	4th Participation

Tabel II.2 Data peringkat tim pada kategori perlombaan *Long-Distance Race* dalam HYDROCONTEST 2017.

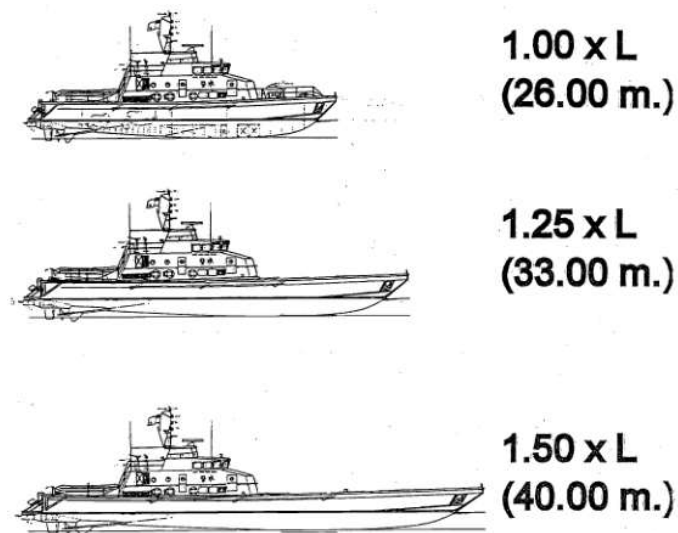
Final Ranking	University	Country	Laps	Remarks
1	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLIN	Colombia	22	4th Participation
2	HAUTE ÉCOLE D'INGÉNIERIE ET D'ARCHITECTURE FRIBOURG	Switzerland	21	4th Participation
3	UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON	UK	20	3rd Participation
4	UNIVERSITY OF BELGRADE	Serbia	17	1st Participation
5	ÉCOLE CENTRALE DE NANTES	France	15	3rd Participation

6	HAUTE ÉCOLE D'INGÉNIERIE DU CANTON DE VAUD	Switzerland	14	2nd Participation
7	NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	Norway	14	2nd Participation
8	UNIVERSITY OF RIJEKA	Croatia	14	3rd Participation
9	UNIVERSITAS INDONESIA	Indonesia	14	2nd Participation
10	ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE	Switzerland	10	4th Participation
11	FEDERAL UNIVERSITY OF PERNAMBUCO	Brazil	9	3rd Participation
12	ESCUELA NAVAL DE CADETES - UNIVERSIDAD NACIONAL BOGOTA	Colombia	8	2nd Participation
13	UNIVERSITÉ LE HAVRE NORMANDIE	France	8	1st Participation
14	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Indonesia	6	1st Participation
15	ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES DE PARIS	France	6	1st Participation
16	UNIVERSITY OF MONTPELLIER	France	4	2nd Participation
17	TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID	Spain	2	2nd Participation
18	SEATECH - UNIVERSITÉ DE TOULON	France	2	4th Participation
19	ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE MARITIME - MARSEILLE	France	1	4th Participation
20	UNIVERSITY COLLEGE OF LONDON	UK	0	2nd Participation
21	NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS	Greece	0	2nd Participation
22	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 1	Peru	0	1st Participation
23	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 2	Peru	0	1st Participation

### II.2.3. *Enlarged Ship Concept (ESC)*

Pada tahun 1995, J.A. Keuning & Jakob Pinkster memperkenalkan *Enlarged Ship Concept (ESC)* dimana kapal patroli dengan panjang 26 meter dibuat pembandingnya dengan panjang 125% dan 150% panjang awal tanpa mengubah parameter desain seperti *payload*,

kecepatan dinas, lebar kapal, dan fungsi kapal. Kapal yang diperpanjang didapati membutuhkan daya mesin yang lebih rendah (hingga 30%) pada kecepatan dinas yang sama dan memiliki *seakeeping* yang lebih baik dengan penambahan *building cost* hanya sekitar 3-6%. Perbandingan ukuran dan hambatan kapal dari *Enlarged Ship Concept* dapat dilihat pada Gambar II.5 dan Gambar II.6.



Gambar II.5 *Enlarged Ship Concept* (Keuning & Pinkster, 1995)

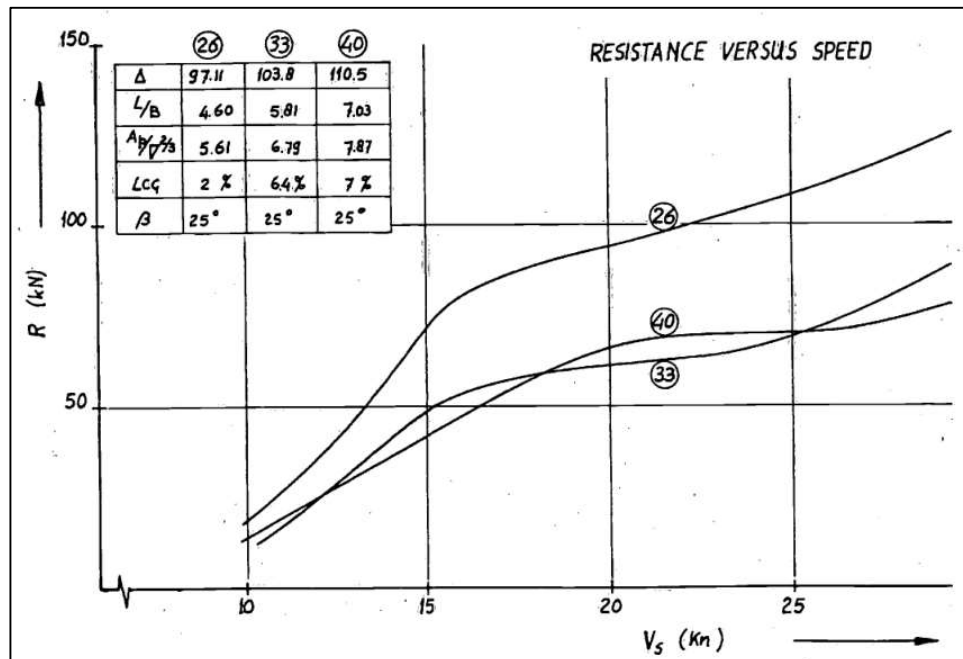
#### II.2.4. Pengaruh Bentuk Haluan pada Performa Kapal *Monohull*

Pada tahun 1997, dilakukan penelitian lebih lanjut pada kapal *ESC* dengan melakukan modifikasi pada bentuk haluan kapal (sekitar 25% dari panjang kapal di bagian depan) sehingga terdapat tiga variasi model (*ESC 4100*, *TUD 4100*, dan *AXE 4100*) seperti pada Gambar II.7.

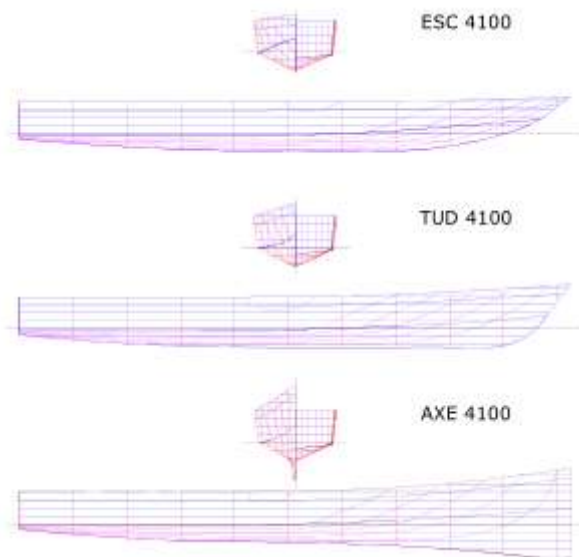
Hasil pengujian pada ketiga variasi model menunjukkan bahwa model *AXE 4100* memiliki performa *seakeeping* (reduksi percepatan vertikal) yang paling baik dibanding kedua model lainnya sehingga mengurangi *slamming* pada kapal. Dalam pengujian ini, belum dilakukan perbandingan hambatan kapal secara mendalam.

Sementara itu, Dahna (2018) melakukan modifikasi pada haluan model lambung kapal *Self-Propeller Urea Barge (SPUB)* menjadi bentuk *X-bow* dan *Axe bow*. Hasil pengujian dengan metode *CFD* menunjukkan bahwa lambung kapal dengan *X-bow* memiliki hambatan total 4.78% lebih rendah daripada model awal dan lambung kapal dengan *Axe bow* memiliki hambatan total 6.22% lebih rendah daripada model awal. Hasil analisa pada *seakeeping* kapal juga menunjukkan bahwa model dengan *Axe bow* memiliki nilai maksimum *heave* dan *pitch*

yang lebih kecil daripada model asli dan *X-bow* (model *X-bow* justru memiliki *heave* dan *pitch* yang lebih besar dari model awal).

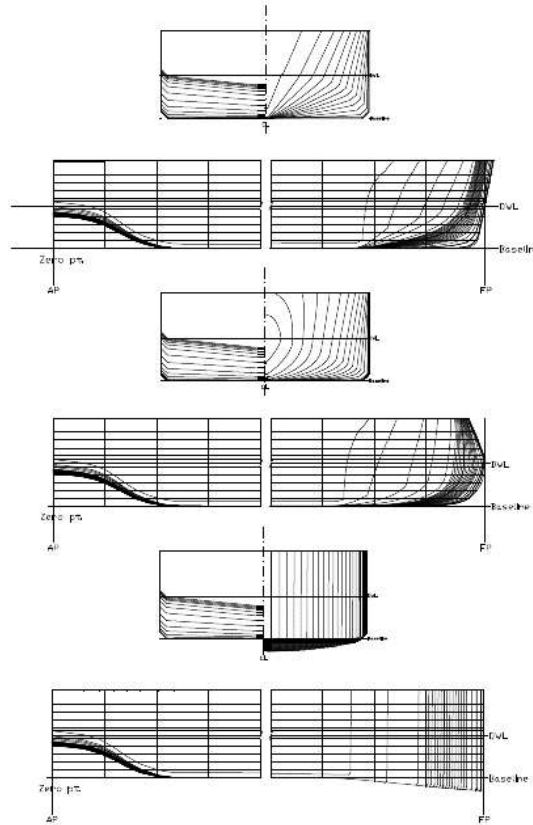


Gambar II.6 Perbandingan hambatan *Enlarged Ship Concept* (Keuning & Pinkster, 1995).



Gambar II.7 *Lines plan* model dengan modifikasi bentuk haluan (Keuning, Toxopeus, & Pinkster, 1997).





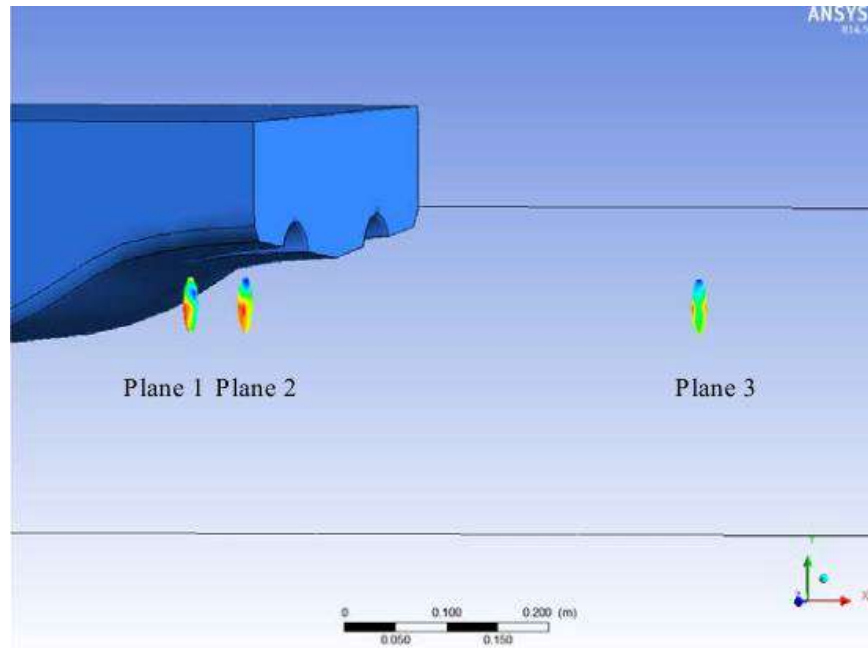
Gambar II.8 Perbandingan *body plan* dan *sheer plan* model asli SPUB, model dengan *X-bow*, dan model dengan *Axe bow* (Dahna, 2018)

### II.2.5. Pengaruh Posisi *Propeller Plane* pada Efisiensi *Propeller*

Sid'qon (2015) melakukan kajian pada aliran air yang melewati *propeller* dengan atau tanpa *tunnel stern* pada sebuah kapal *shallow draft* menggunakan analisa *CFD*. Analisa ini dilakukan untuk mempertimbangkan apakah modifikasi lambung kapal dengan membentuk *tunnel stern* dapat mempengaruhi *wake* ( arus ikut) dan kecepatan aliran air yang berada di sekitar *propeller* sehingga dapat meningkatkan efisiensi *propeller*. *Propeller* yang bekerja pada daerah yang kecepatannya tinggi (mendekati kecepatan kapal) akan memiliki efisiensi yang lebih baik daripada *propeller* yang bekerja pada daerah yang kecepatan aliran airnya rendah (di daerah *wake*).

Dalam penelitian yang dilakukan, kecepatan aliran air yang melewati *propeller* dapat ditampilkan dengan indikator berupa warna pada *propeller plane*. Umumnya aliran air akan semakin cepat dan seragam apabila semakin jauh dari badan kapal. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa penambahan *tunnel stern* pada kapal yang diteliti menyebabkan peningkatan kecepatan aliran air hingga 35.7% sehingga terjadi peningkatan efisiensi sistem

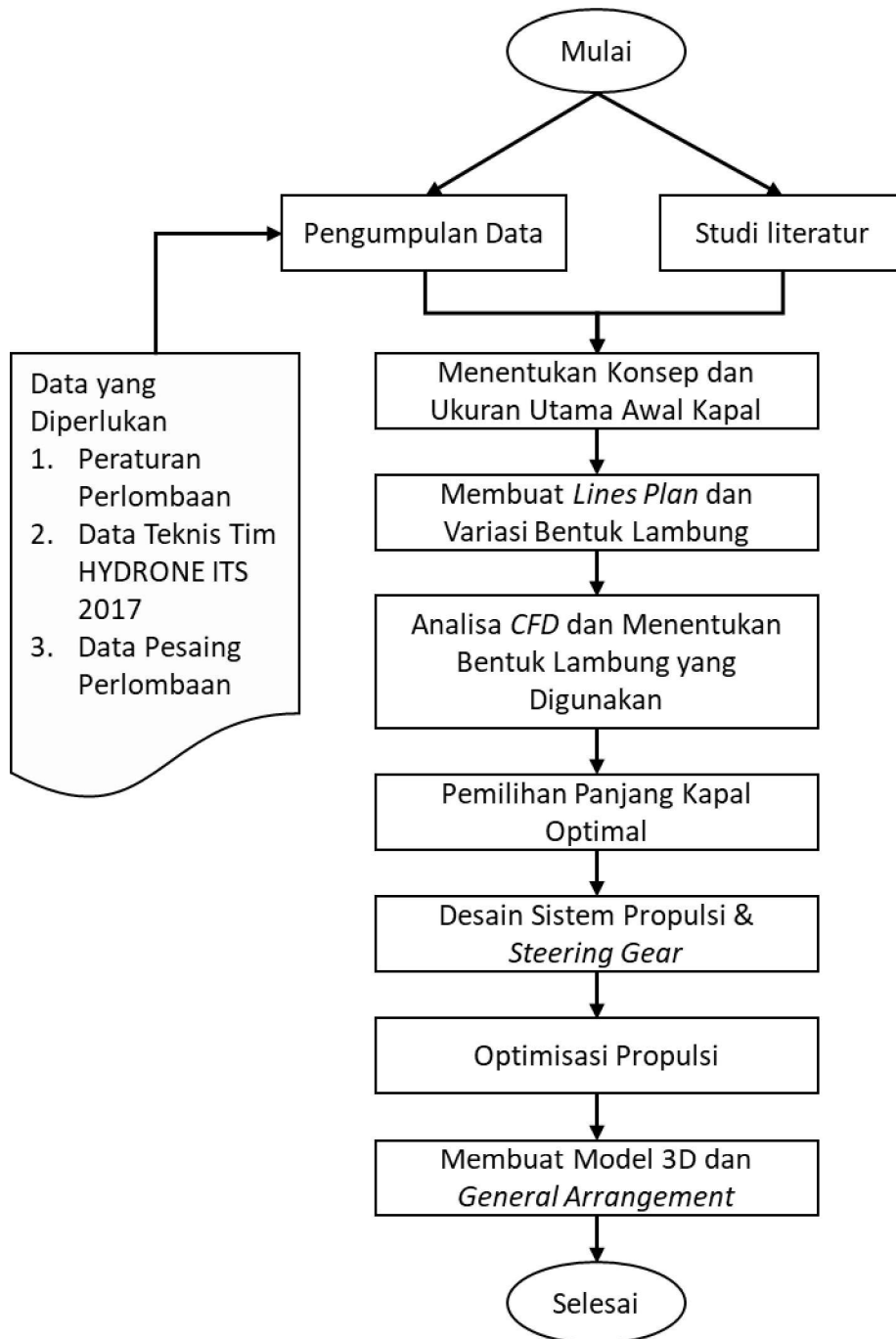
propulsi sebesar 13.6% pada kondisi *deep water* namun tidak menyebabkan peningkatan efisiensi yang signifikan pada kondisi *shallow draft water*. Analisa kecepatan aliran air juga akan dilakukan pada Tugas Akhir ini untuk menentukan posisi *propeller* di sekitar lambung kapal agar *propeller* memiliki efisiensi yang baik.



Gambar II.9 Analisa kecepatan aliran air yang melalui *propeller plane* pada kapal dengan *tunnel stern* (Sid'qon, 2015).

## BAB III METODOLOGI

### III.1. Bagan Alir



Gambar III.1 Bagan alir pengerjaan Tugas Akhir.

## **III.2. Tahap Pengerjaan**

### **III.2.1. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan untuk memudahkan pengambilan keputusan dalam tahap desain dan menentukan target performa kapal yang akan didesain. Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini diperoleh dari berbagai sumber, diantaranya dari panitia perlombaan sendiri (*official rules* dan hasil perlombaan pada edisi perlombaan sebelumnya), Laporan Pertanggungjawaban Tim HYDRONE ITS dalam HYDROCONTEST 2017, serta informasi dari tim peserta lain (komunikasi secara langsung).

### **III.2.2. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi berupa dasar teori dan tinjauan pustaka yang berhubungan dengan upaya peningkatan performa kapal khususnya dari segi kecepatan dan efisiensi.

### **III.2.3. Membuat *Lines Plan* dan Variasi Bentuk Lambung**

Setelah menentukan konsep, bentuk, dan ukuran utama awal kapal yang akan digunakan, dibuat *lines plan* kapal dengan menggunakan *software* Maxsurf Modeler yang kemudian divariasikan bentuk haluannya untuk diuji menggunakan *software* CFD.

### **III.2.4. Analisa CFD**

Simulasi CFD dilakukan untuk estimasi besar hambatan kapal dan analisa aliran fluida di sekitar kapal yang akan berguna untuk menentukan bentuk lambung yang akan digunakan, koreksi *freeboard*, menentukan posisi *propeller*, serta optimisasi sistem propulsi.

### **III.2.5. Pemilihan Panjang Kapal Optimal**

Setelah memilih bentuk lambung yang akan digunakan, kapal divariasikan panjangnya dan dianalisa dengan *software* Maxsurf Resistance (*Slender Body Method*) untuk mengetahui apakah penambahan panjang pada model yang telah dibuat akan berpengaruh signifikan pada peningkatan performa kapal. Setelah menyelesaikan tahap ini maka tahap desain lambung telah selesai.

### **III.2.6. Desain Sistem Propulsi dan *Steering Gear***

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem propulsi sekaligus sistem *steering gear* yang akan berpengaruh pada propulsi dan *maneuvering* kapal.

### **III.2.7.Optimisasi Propulsi**

Optimisasi propulsi dilakukan agar kapal memiliki performa yang optimal baik untuk mencapai kecepatan tertinggi maupun menempuh jarak terjauh. Proses optimisasi dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel yang diautomasi dengan Microsoft Visual Basic for Application (VBA) dengan memanfaatkan data *open water test propeller*, data hambatan kapal, dan data komponen elektrik.

### **III.2.8.Membuat Model 3D dan *General Arrangement***

Pembuatan model 3D dilakukan secara paralel dengan pengecekan titik berat untuk analisa *trim* dan stabilitas kapal. *General arrangement* sendiri dapat diperoleh dengan melakukan proyeksi berbagai tampak pada model 3D yang telah dibuat.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

## BAB IV ANALISIS TEKNIS

### IV.1. Analisa Perlombaan

#### IV.1.1. Peraturan Perlombaan

Dalam Tugas Akhir ini, kapal yang didesain akan digunakan untuk mengikuti dua kategori perlombaan sekaligus, yaitu *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race*. Kedua kategori ini dibedakan pada objektif perlombaan dan panjang lintasannya. Perbandingan antara kedua kategori ini dapat dilihat pada Tabel IV.1.

Tabel IV.1 Perbedaan Kategori Perlombaan *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race*.

Aspek	Kategori Perlombaan	
	<i>Lightweight Race</i>	<i>Long-Distance Race</i>
Objektif	Kapal menyelesaikan 1 <i>lap</i> lintasan dengan waktu tercepat.	Kapal menempuh lintasan dalam waktu 60 menit dengan jumlah <i>lap</i> terbanyak dalam satu siklus baterai.
Muatan	<ul style="list-style-type: none"><li>- Dua buah balok beban (masing-masing 10 kg).</li><li>- Setiap balok beban berukuran 50 cm x 12 cm x 10 cm.</li></ul>	
Panjang Lntasan	- 600 m	- 400 m

Kapal yang digunakan oleh tim peserta perlombaan harus memenuhi persyaratan teknis yang diberikan oleh panitia perlombaan. Syarat-syarat ini dapat dilihat pada tabel IV-2 dan berlaku untuk semua kategori perlombaan (*Lightweight Race*, *Long-Distance Race*, dan *Heavyweight Race*). Masing-masing tim boleh membuat 1 kapal untuk mengikuti ketiga kategori perlombaan atau 2 kapal untuk mengikuti 3 kategori perlombaan.

#### IV.1.2. Lintasan

Perlombaan dilaksanakan di air laut dengan ombak yang relatif kecil atau mendekati kondisi air tenang. Panjang lintasan adalah 600 meter/*lap* untuk kategori *Lightweight Race* dan 400 meter/*lap* untuk kategori *Long-Distance Race*. Saat Tugas Akhir ini diselesaikan, bentuk lintasan belum diumumkan secara resmi oleh panitia perlombaan.

Tabel IV.2 Syarat yang harus dipenuhi kapal untuk mengikuti perlombaan

Aspek	Keterangan
Badan Kapal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Badan kapal dengan seluruh komponennya yang telah terpasang harus dapat dimasukkan ke dalam <i>dimension box</i> berukuran 2,5 m x 2,5 m x 2 m.</li> <li>- Tidak ada batasan terkait material yang digunakan untuk membuat kapal.</li> <li>- Kapal harus <i>unsinkable</i> dalam kondisi apapun dan memiliki <i>buoyancy</i> cadangan.</li> </ul>
Sistem Propulsi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motor penggerak yang digunakan disediakan oleh panitia adalah Watt&amp;Sea POD 1400 Watt dengan efisiensi mesin sebesar 85%.</li> <li>- Peserta dibebaskan untuk memilih <i>propeller</i> yang akan digunakan.</li> </ul>
Sistem Elektrik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baterai yang digunakan disediakan oleh panitia yaitu Panasonic Li-Ion 36V 7.8 Ah.</li> <li>- Seluruh komponen elektrik harus diletakkan di dalam kompartemen yang kedap air.</li> </ul>

#### IV.1.3. Target Kecepatan Kapal

Target kecepatan rata-rata kapal yang akan didesain dalam Tugas Akhir ini menyesuaikan kecepatan rata-rata kapal yang berada dalam peringkat 3 besar kategori Lightweight Race, yaitu 4.5 m/s (lihat Tabel II.1).

### IV.2. Desain Lambung Kapal

#### IV.2.1. Pemilihan Tipe Kapal

Pemilihan tipe kapal yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini mereferensi pada tipe-tipe kapal yang berada pada peringkat 4 besar HYDROCONTEST 2017 baik dalam kategori *Lightweight Race* dan *Long-distance Race* karena kapal akan digunakan pada kedua kategori tersebut sekaligus. Adapun tipe-tipe kapal yang berada pada peringkat 4 besar pada kedua kategori perlombaan pada tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel IV.3 dan Tabel IV.4.

Dari Tabel IV.3 dan Tabel IV.4, dapat dilihat bahwa tipe kapal yang berada pada peringkat 4 besar *Lightweight Race* secara garis besar terbagi menjadi kapal *displacement monohull* dan kapal dengan *hydrofoil*. Kapal dengan *hydrofoil* memiliki keuntungan berupa hambatan yang kecil pada kecepatan tinggi karena lambung kapal tidak menyentuh air sehingga hambatan kapal hanya berasal dari hambatan *hydrofoil* itu sendiri. Kapal *displacement monohull* yang berada pada peringkat 4 besar memiliki beberapa kesamaan, diantaranya memiliki lambung yang *slender* serta konstruksi ringan dan sederhana (kapal tim Belgrade memiliki LWT paling ringan dalam perlombaan, yaitu 16 kg).

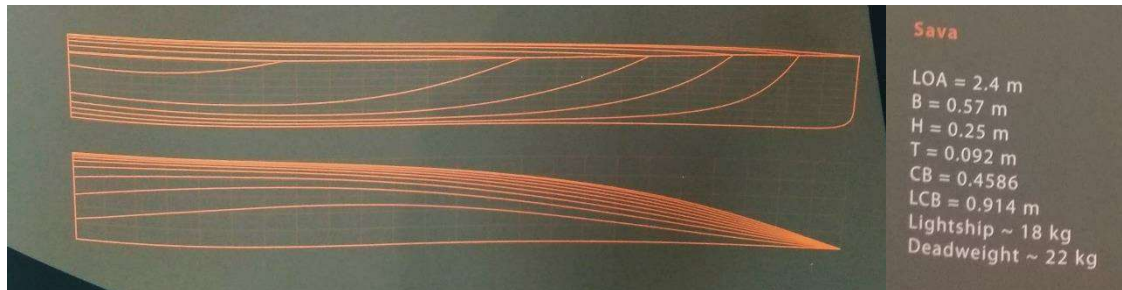


Tabel IV.3 Tipe kapal pada peringkat 4 besar kategori *Lightweight Race*

Peringkat	Nama Tim	Negara	Tipe Kapal
1	HEIA-FR	Swiss	<i>Hydrofoiled Trimaran</i>
2	Belgrade	Serbia	<i>Displacement Monohull</i>
3	HEIG-VD	Swiss	<i>Hydrofoiled Monohull</i>
4	Athens	Yunani	<i>Displacement Monohull</i>

Tabel IV.4 Tipe kapal pada peringkat 4 besar kategori *Long-distance Race*

Peringkat	Nama Tim	Negara	Tipe Kapal
1	Hydrometra	Kolombia	<i>Displacement Catamaran</i>
2	Southampton	UK	<i>Displacement Monohull</i>
3	HEIA-FR	Swiss	<i>Displacement Monohull</i>
4	Belgrade	Serbia	<i>Displacement Monohull</i>



Gambar IV.5 *Shear Plan* (atas), *Half-Breadth Plan* (bawah), dan ukuran utama kapal *displacement monohull* tim Belgrade.

Sementara untuk kategori *Long-distance Race*, semua kapal di peringkat 4 besar merupakan kapal *displacement* dimana 3 dari 4 kapal merupakan *displacement monohull* dan 1 dari 4 kapal merupakan *displacement catamaran*. Umumnya dalam kategori ini, untuk menghemat penggunaan baterai, motor tidak dioperasikan dengan daya maksimal sehingga kapal beroperasi pada kecepatan rendah dimana kapal *displacement* memiliki keunggulan dari segi efisiensi.

Berdasarkan hasil perlombaan di tahun 2017 dan pertimbangan di atas, dipilih tipe *displacement monohull* sebagai tipe kapal yang akan didesain dalam Tugas Akhir ini.

#### IV.2.2. Pemilihan Ukuran Utama Awal

Pemilihan ukuran utama kapal yang didesain dalam Tugas Akhir ini memperhatikan hal-hal berikut:

1. Ukuran maksimal kapal disesuaikan dengan batasan dalam perlombaan dimana bagian kapal dengan keadaan semua komponen telah terpasang harus dapat dimasukkan ke dalam *dimension box* berukuran 2,5 x 2,5 x 2 meter.

2. Secara memanjang, kapal akan dibagi menjadi 3 segmen, yaitu ruang mesin dan komponen elektrik, ruang muat, dan ruang kosong di bagian depan kapal.
3. Karena pemosisian beban direncanakan secara memanjang di dalam lambung kapal, maka panjang ruang muat minimal adalah 2 kali panjang balok beban ( $2 \times 50 \text{ cm} = 100 \text{ cm}$ ).
4. Lebar lambung pada ruang muat harus melebihi lebar terkecil balok beban (10 cm)
5. Pemilihan nilai lebar dan sarat harus memperhatikan faktor stabilitas yang baik (tidak memiliki *angle of loll* atau nilai G-Z selalu positif).
6. Karena hambatan kapal displacement dipengaruhi oleh nilai *length-displacement ratio*, maka panjang kapal disesuaikan dengan target LWT minimal kapal (16 kg).
7. Kapal dengan ukuran utama yang terlalu besar akan menyebabkan lambung kapal semakin berat sehingga menambah *displacement* dan luas permukaan basah sehingga hambatan kapal meningkat.
8. Kapal harus memiliki *freeboard* yang cukup sehingga air tidak masuk ke dek pada kondisi ekstrim

Dari pertimbangan-pertimbangan di atas, dipilih panjang kapal awal 220 cm (75 cm untuk ruang mesin, 110 cm untuk ruang muat, dan 35 cm untuk ruang kosong di bagian depan). Penentuan lebar dan sarat kapal dilakukan secara paralel saat pemodelan dengan software Maxsurf Modeler. Nilai lebar awal (B) yang dipilih adalah 40 cm dan sarat awal (T) yang dipilih adalah 10 cm dengan tinggi freeboard 20 cm.

Tabel IV.5 Ukuran utama awal kapal

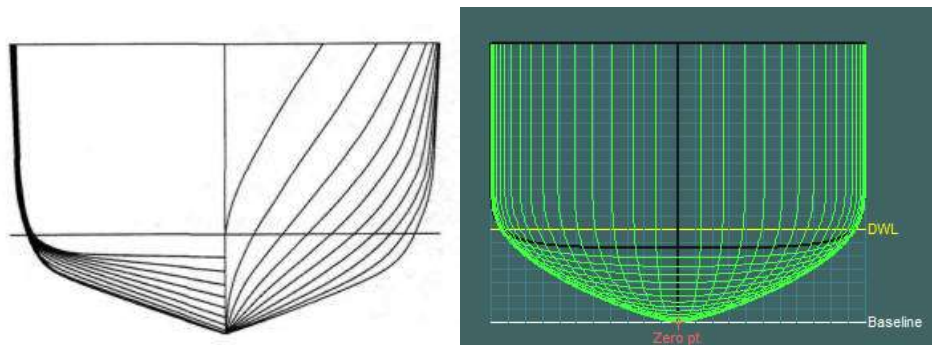
<b>Displacement</b>	36	kg
<b>L</b>	2,2	m
<b>B</b>	0,4	m
<b>T</b>	0,1	m
<b>H</b>	0,3	m

#### IV.2.3. Pembuatan Model Awal Lambung Kapal

Pembuatan model awal lambung kapal dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf Modeler dengan ukuran utama sesuai dengan Tabel IV.5. Dalam Tugas Akhir ini, bentuk lambung kapal mereferensi pada seri Marin Fast Displacement Hull Form dimana

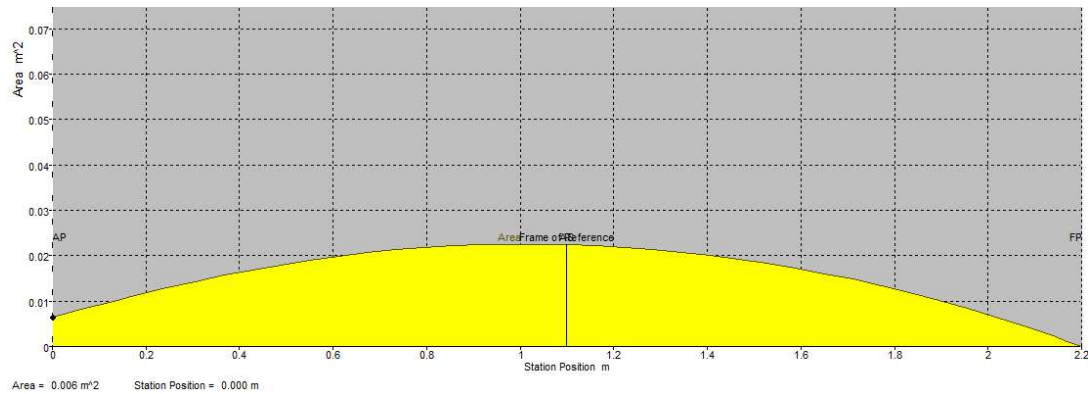
pada seri ini kapal menggunakan *round bilge* dan *transom stern*. Bentuk haluan untuk model awal ini berupa *vertical bow* dengan hipotesa bahwa kapal akan memiliki *angle of enterance* yang kecil dan mengurangi *wave making resistane*. Pemilihan bentuk haluan ini akan diteliti lebih lanjut dengan analisa *CFD* di IV.3. Sementara itu, bentuk buritan kapal yang digunakan berupa *transom stern* dengan tinggi sarat pada *transom* menyesuaikan *froude number* kapal (untuk  $fn > 0.5$  maka  $t = 15\% - 20\% T$ ) (H. Schneekluth, 1998) sehingga sarat pada *transom* adalah 2 cm (20% dari T). Tinggi sarat pada *transom* ini akan berpengaruh pada separasi air di belakang kapal dan mempengaruhi *residual resistance* (Haase, Binns, Thomas, & Bose, 2015). Untuk mempermudah proses produksi lambung kapal, bentuk *station* di atas garis air dibuat tidak melengkung dengan konsekuensi kapal kehilangan *water-deflecting effect* (lihat

Gambar IV.1). Hal ini tidak menjadi masalah karena kapal sudah memiliki *freeboard* yang cukup tinggi sehingga air tidak mudah naik ke geladak.

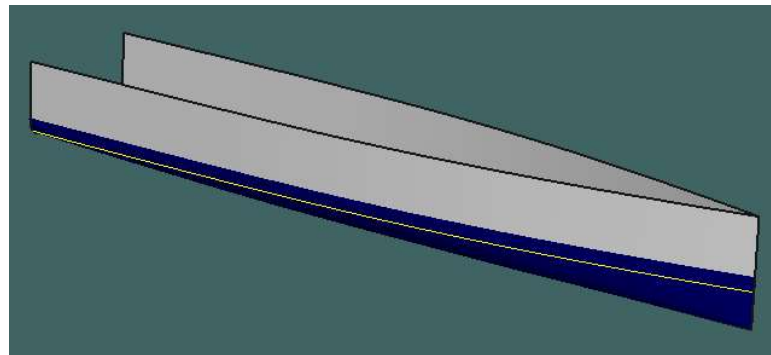


Gambar IV.1 *Body plan* Marin Fast Displacement Hull Form (kiri) (MARIN) dan *body plan* model awal lambung kapal (kanan).

Distribusi *displacement* kapal dapat dilihat pada *Sectional Area Curves* (SAC) untuk memastikan bahwa tidak terdapat perubahan distribusi *displacement* yang ekstrim di sepanjang kapal yang dapat menyebabkan peningkatan *wave making resistance* (Papanikolaou, 2014). Untuk mencapai kondisi tersebut, kapal didesain tanpa memiliki *parallel middle body* untuk memaksimalkan *length of enterance* dan *length of run* sehingga SAC kapal memiliki bentuk yang landai dari ujung depan ke ujung belakang. Bentuk akhir dari model awal lambung kapal ini dapat dilihat pada Gambar IV.3.



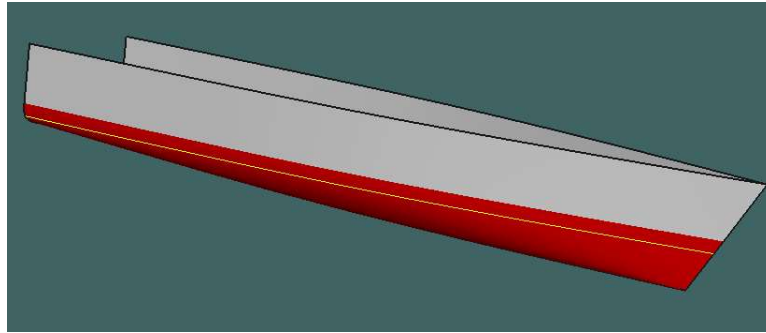
Gambar IV.2 *Sectional Area Curve* model awal lambung kapal.



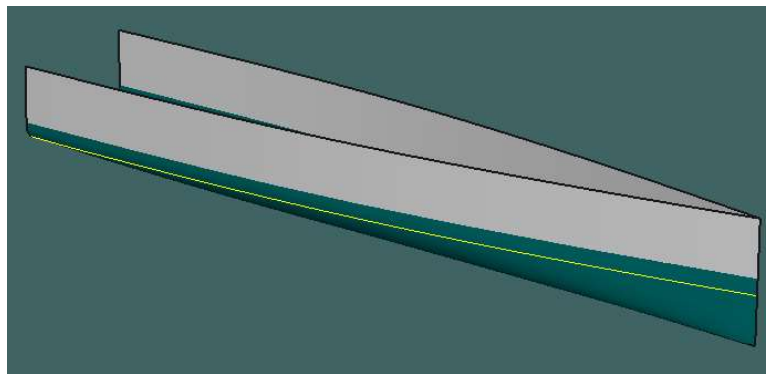
Gambar IV.3 Model awal lambung kapal.

#### IV.2.4. Pembuatan Variasi Model Lambung Kapal

Untuk memperoleh desain yang optimal, dibuat dua model pembanding yang merupakan modifikasi dari model awal di bagian haluan kapal dengan tetap mempertahankan panjang, lebar, tinggi, dan *displacement* sehingga terdapat 3 desain yang akan dibandingkan, yaitu *vertical bow*, *conventional bow*, dan *Axe bow*. Bentuk haluan konvensional ikut dipertimbangkan untuk membandingkan hambatannya dengan hambatan *vertical bow* dan *Axe bow* yang masih belum umum digunakan, sementara bentuk *Axe bow* juga diteliti karena terdapat laporan bahwa kapal dengan bentuk haluan ini mereduksi akselerasi vertikal serta memiliki hambatan yang relatif rendah (Keuning, Toxopeus, & Pinkster, The Effect of Bowshape on the Seakeeping Performance of a Fast Monohull, 1997) (Dahna, 2018). Perbandingan nilai koefisien ketiga varian lambung kapal secara keseluruhan dapat dilihat pada bagian lampiran.



Gambar IV.4 Desain lambung dengan haluan konvensional.



Gambar IV.5 Desain lambung dengan *Axe bow*.

### IV.3. Analisa *CFD*

Untuk memilih desain lambung yang akan digunakan dari ketiga variasi model yang telah dibuat, dilakukan analisa *CFD* untuk membandingkan besar hambatan lambung kapal. Perbandingan hambatan tidak menggunakan rumus pendekatan dikarenakan ketiga model memiliki ukuran utama dan koefisien yang hampir serupa. Selain untuk membandingkan hambatan kapal, lewat analisa *CFD* juga dapat dilakukan visualisasi gelombang dan aliran fluida di sekitar lambung kapal yang dapat berguna untuk pengambilan keputusan desain selanjutnya seperti modifikasi bentuk lambung dan pemosisian *propeller*.

#### IV.3.1. *Software CFD*

Software yang digunakan dalam adalah ANSYS CFX dengan *platform* ANSYS Workbench 16.

#### IV.3.2. Langkah Pengerjaan

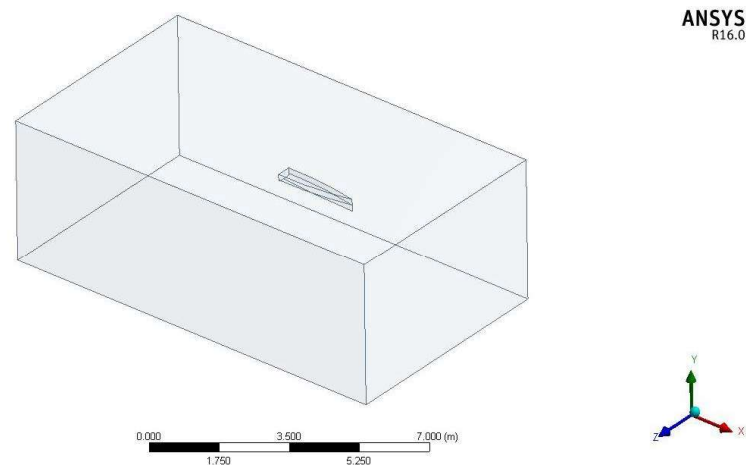
##### 1. Mengatur Geometri

Tahap ini merupakan tahap dimana model yang telah didesain di-*import* ke ANSYS dan disesuaikan agar dapat dianalisa. Pada tahap ini juga diatur ukuran *enclosure* yang merupakan wilayah mengalirnya fluida pada analisa *CFD*. Ukuran *enclosure*

berpengaruh pada konvergen atau tidaknya proses simulasi *CFD*. Setelah proses *trial & error* dalam menentukan ukuran *enclosure*, simulasi mencapai konvergensi saat menggunakan ukuran *enclosure* seperti pada Tabel IV-6.

Tabel IV.6 Ukuran *enclosure* untuk analisa *CFD*.

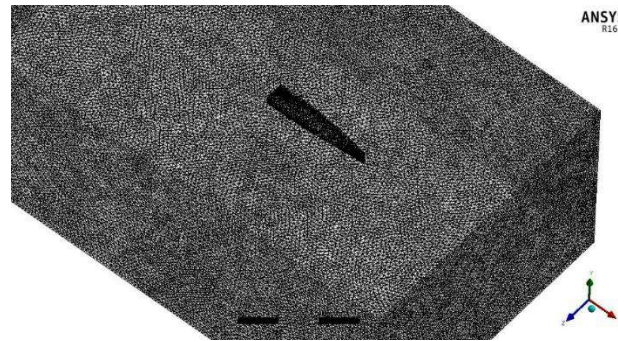
Enclosure Dimensions		
Forward of ship	3	m
Aft of ship	6	m
Side of ship (each)	3	m
Top of ship	0.75	m
Bottom of ship	3	m



Gambar IV.6 Geometri model untuk simulasi *CFD*.

## 2. Meshing

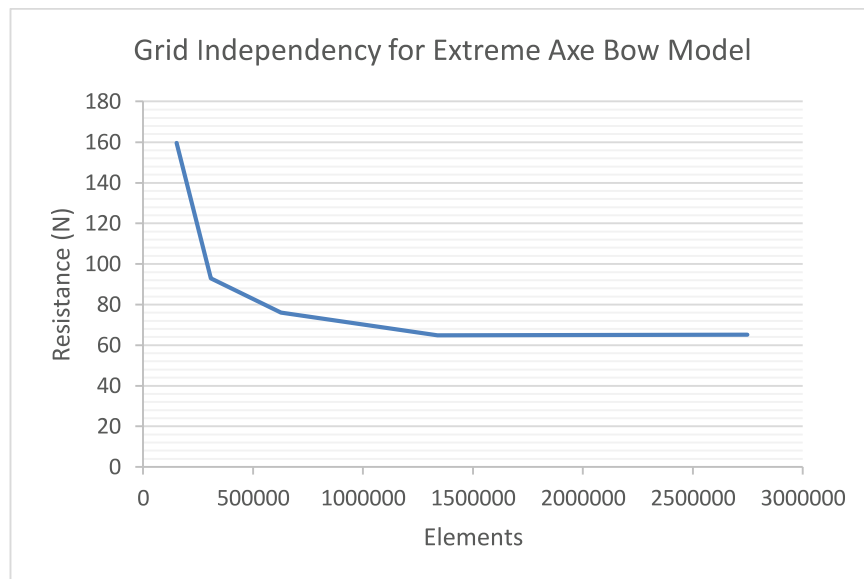
*Meshing* merupakan proses mengatur ukuran dan jumlah elemen yang digunakan dalam proses simulasi *CFD*. Semakin banyak jumlah elemen yang digunakan maka hasil yang diperoleh akan semakin akurat namun akan semakin memberatkan proses komputasi. Oleh karena itu dilakukan proses pencarian *grid independency* dimana hasil simulasi dengan jumlah elemen tertentu sudah sangat mendekati hasil simulasi dengan jumlah elemen yang lebih banyak (konvergen). Simulasi dalam Tugas Akhir ini sudah *grid independent* pada jumlah elemen sebanyak 1,34 juta.



Gambar IV.7 Hasil *meshing* model.

Tabel IV.7 *Grid Independency* simulasi *CFD*.

Grid Independency						
Speed (m/s)	Max. Face Size (m <sup>2</sup> )	Elements	Growth	Running Time	Resistance	Difference
5	0.5235	151150	-	6m	159.522	41.8%
	0.1700	308116	204%	9m46s	92.7745	18.1%
	0.1100	628317	204%	24m58s	75.9513	14.7%
	0.0750	1340039	213%	47m58s	64.8086	0.4%
	0.0540	2748493	205%	2h22m	65.0538	-



Gambar IV.8 Grafik *grid independency* simulasi *CFD*.

### 3. Setup

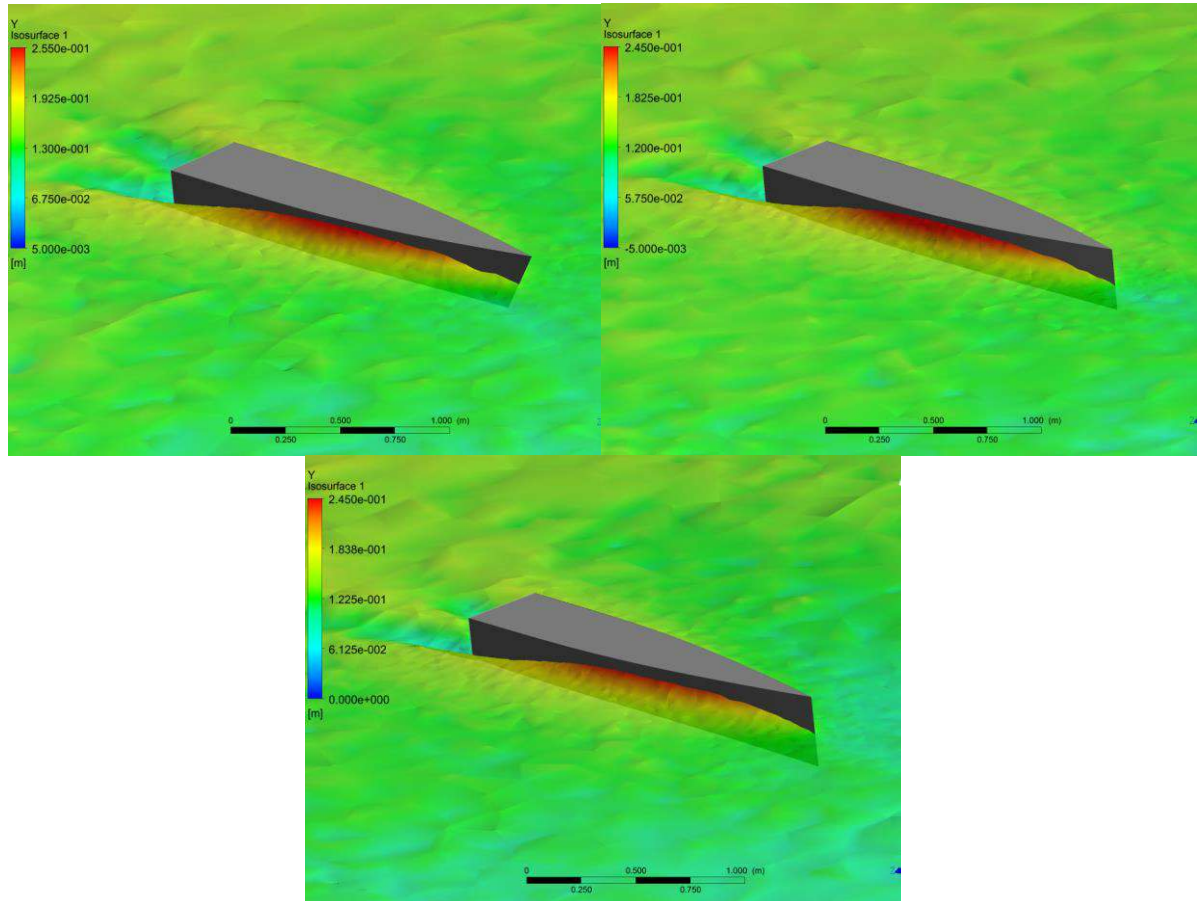
Tahap ini merupakan pengaturan kondisi simulasi yang meliputi pendefinisian bagian-bagian geometri, pendefinisian *expression*, pengaturan jenis dan kecepatan fluida, serta hal-hal lainnya. Dalam Tugas Akhir ini, karena kapal berada pada permukaan bebas, maka digunakan dua fluida sekaligus (air dan udara) sehingga hambatan yang diperoleh pada hasil simulasi sudah termasuk hambatan udara.

### 4. Running



Setelah semua pengaturan dilakukan, simulasi dapat dijalankan pada 3 variasi model dengan 3 variasi kecepatan yaitu 3, 5, dan 7.5 m/s.

#### IV.3.3. Hasil Simulasi *CFD*



Gambar IV.9 Visualisasi permukaan bebas pada model haluan konvensional (kiri atas), vertical bow (kanan atas), dan Axe bow (bawah). Gradasi warna pada permukaan air mengindikasikan tinggi gelombang relatif terhadap sarat kapal.

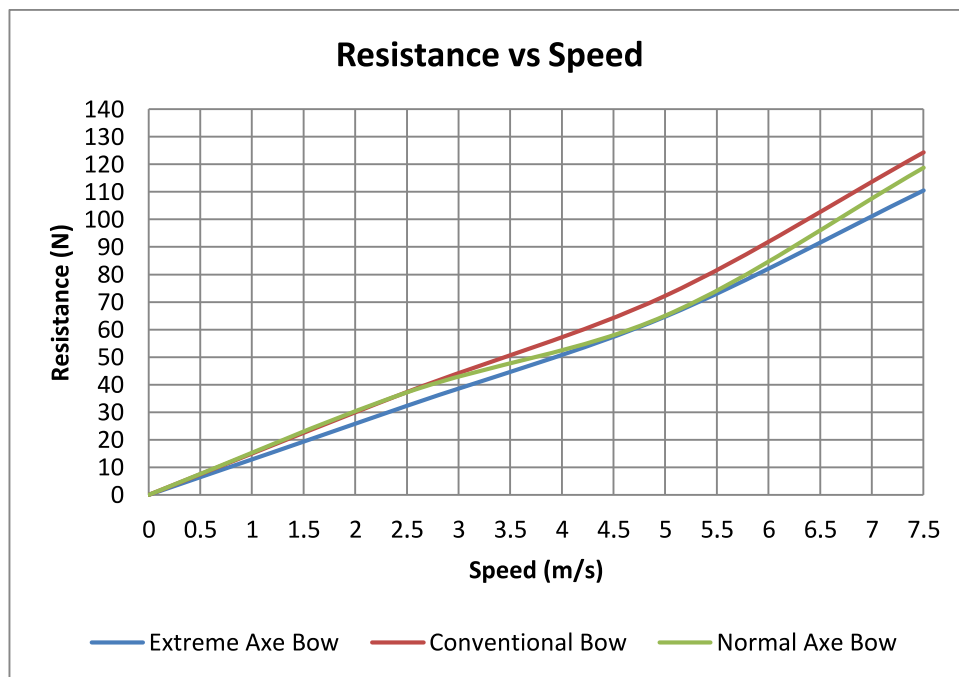
Hasil simulasi terhadap 3 variasi kapal menunjukkan bahwa kapal dengan *Axe bow* memiliki hambatan total terkecil diikuti dengan *vertical bow* dan haluan konvensional (Tabel IV.8). Hasil visualisasi permukaan bebas juga menunjukkan bahwa kapal dengan *Axe bow* memiliki tinggi gelombang terkecil dibanding dua variasi lainnya (*wave making resistance* yang lebih kecil) (Gambar IV.9). Ketiga model memiliki gelombang kapal yang kecil di belakang *transom* dan mengonfirmasi bahwa sarat yang kecil pada bagian *transom* atau *transom draft ratio* yang tinggi memiliki efek yang baik pada aliran air di belakang *transom*. Dari simulasi *CFD* juga diperoleh visualisasi kecepatan aliran air di sekitar lambung kapal



yang digunakan untuk menentukan posisi *propeller* (Gambar IV.23). Dikarenakan tinggi gelombang pada kecepatan 5 m/s sudah mendekati *deck* kapal, dilakukan penambahan *freeboard* pada model sebesar 5 cm.

Tabel IV.8 Perbandingan hambatan 3 variasi model.

Speed (m/s)	Fn	Conventional Bow	Vertical Bow	Axe Bow
		Resistance (N)	Resistance (N)	Resistance (N)
0	0.00	0	0	0
2.5	0.54	37.31	37.20	32.29
5	1.08	72.33	65.10	64.81
7.5	1.61	124.36	118.84	110.55



Gambar IV.10 Perbandingan hambatan 3 variasi model.

#### IV.4. Pemilihan Panjang Kapal Optimal

Setelah mendapatkan bentuk lambung yang memiliki hambatan terkecil dari hasil analisa *CFD* (*Axe bow*), dibuat variasi panjang kapal yang akan diuji hambatannya untuk mengetahui apakah perlu dilakukan pengubahan panjang kapal dari desain awal. Hal ini berdasar pada teori bahwa *slenderness ratio* ( $L/\Delta^{1/3}$ ) memiliki pengaruh yang dominan pada hambatan kapal *displacement* (Molland, Wellicome, & Couser, 1994). Model divariasikan menjadi 3 varian dengan panjang 1.9 meter (-30 cm dari desain awal), 2.2 meter (+0 cm dari

desain awal), dan 2.5 meter (+30 cm dari desain awal). Sarat dari tiap model mengikuti *displacement* masing-masing yang sedikit berbeda dari desain awal karena perubahan luas *surface* lambung yang berdampak pada perubahan berat lambung.

Estimasi hambatan dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf Resistance dengan metode Slender Body karena lambung kapal merupakan lambung yang *slender* dan rentang kecepatannya cukup sesuai dengan batasan pada Maxsurf Resistance (Gambar IV.11). Hasil analisa hambatan dengan metode ini juga memiliki nilai yang paling mendekati hasil analisa dengan *CFD* dibandingkan metode lainnya (Gambar IV.14). Dalam metode ini, nilai dari *form factor* kapal ( $1+k$ ) dan grafik hambatan kapal akan diperoleh secara otomatis.

Tabel IV.9 Perbandingan model untuk optimisasi panjang kapal.

	Model		
	Lwl 1.9 m	Lwl 2.2 m	Lwl 2.5 m
B (m)	0.4	0.4	0.4
Hull Surface Area (m <sup>2</sup> )	1.48	1.71	1.95
Hull Weight (kg)	5.19	6.00	6.81
Displacement (kg)	35.19	36.00	36.81
Slenderness Ratio	5.85	6.72	7.58
Draft (cm)	10.3	9.5	8.9
B/T	3.88	4.21	4.49

Hasil analisa hambatan pada varian menggunakan Maxsurf Resistance menunjukkan hasil yang cukup konsisten dimana kapal dengan *length-displacement* ratio yang lebih tinggi memiliki hambatan yang lebih kecil. Meskipun demikian, penambahan panjang dari ukuran awal (2.2 meter menjadi 2.5 meter) hanya berdampak pada pengurangan hambatan yang kecil sehingga dipilih panjang kapal tetap 2.2 meter dengan pertimbangan kapal akan sedikit lebih ringan dan berdimensi lebih kecil karena akan dibawa dalam bagasi pesawat (kapal dibagi menjadi 3 bagian secara memanjang). Desain lambung yang sudah final ini kemudian di-*submit* kepada tim HYDRONE ITS untuk memulai produksi kapal.

Speed		
The resistance prediction algorithms are useful only within certain speed ranges; these limits are:		
Algorithm:	Low - speed limit	High - speed limit
Savitsky (pre-planing)	$Fn_V = 1.0$	$Fn_V = 2.0$
Savitsky (planing)	$Fn_B = 1.0$	None, see note below
Blount and Fox	$Fn_V = 1.0$	None, see note below
Lahtihaarju (round bilge)	$Fn_V = 1.5$	$Fn_V = 3.8$
Lahtihaarju (hard chine)	$Fn_V = 1.5$	$Fn_V = 5.0$
Wyman	0.0	depends on "DL ratio"
Holtrop	0.0	$Fn_L = 0.80$
Van Oortmerssen	0.0	$Fn_L = 0.50$
Series 60	$Fn_V = 0.282$	$Fn_V = 0.677$
Delft	0.0	$Fn_L = 0.75$
Compton	$Fn_L = 0.1$	$Fn_L = 0.6$
Fung	$Fn_L = 0.134$	$Fn_L = 0.908$
KR Barge	0.0	$Fn_L = 0.50$
Slender Body	0.0	Up to $Fn_L \approx 1.0$ depending on slenderness ratio

Gambar IV.11 Batasan prediksi hambatan pada Maxsurf Resistance.

Analytical

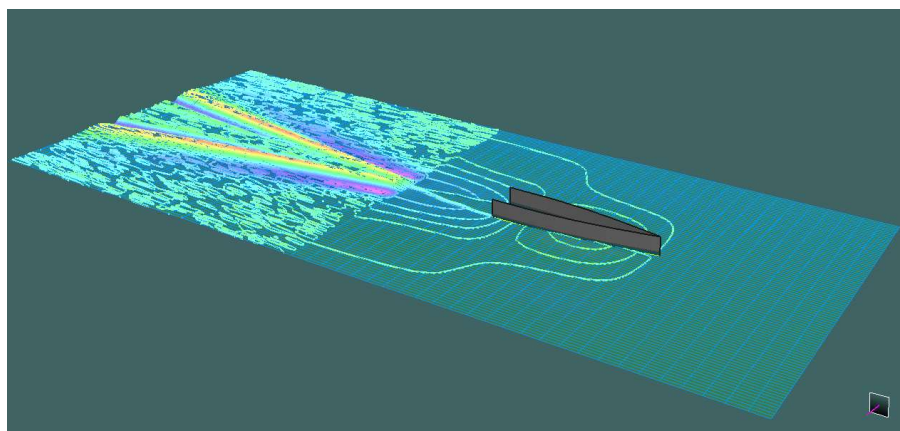
☒ Slender Body

Form factor (1+k), including viscous interaction for multihulls

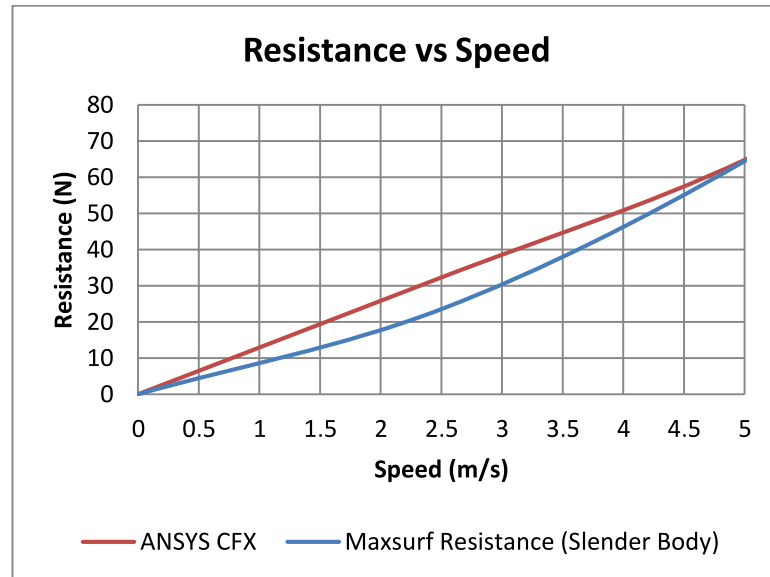
Method

☐ Use 19th ITTC modified formula for CA

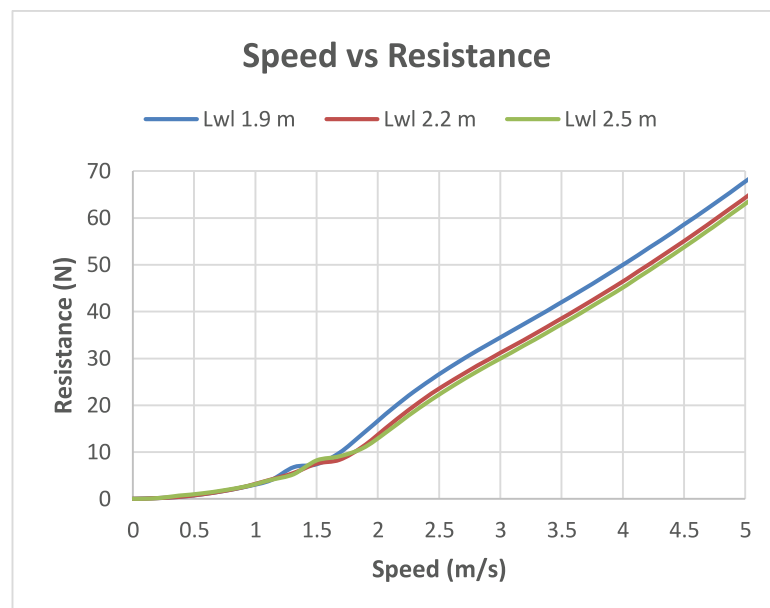
Gambar IV.12 Pemilihan metode analisa hambatan kapal pada Maxsurf Resistance.



Gambar IV.13 Analisa *free surface* pada Maxsurf Resistance.



Gambar IV.14 Perbandingan hasil analisa hambatan kapal dengan *CFD* dan metode *Slender Body*.



Gambar IV.15 Perbandingan hambatan model kapal dengan panjang 1.9, 2.2, dan 2.5 meter berdasarkan analisa menggunakan Maxsurf Resistance.

## IV.5. Sistem Propulsi

### IV.5.1. Motor Penggerak

Dalam HYDROCONTEST, penggerak utama kapal berupa motor elektrik yang telah distandarisasi panitia perlombaan untuk semua tim peserta, yaitu Watt & Sea POD 1400W/36V dengan efisiensi 85% (*output power* maksimal yang dapat dihasilkan motor sekitar 1190 Watt) Motor ini diharuskan untuk beroperasi di dalam air sehingga tidak

memerlukan sistem pendinginan tambahan. Adapun spesifikasi dari motor ini adalah sebagai berikut:

- Tipe : *Brushless DC motor*
- Daya input : 1400 Watt
- Tegangan : 36 Volt
- Efisiensi : 85%
- *Max. RPM (no load)* : 3000
- Berat : 6 kg



Gambar IV.16 Watt & Sea POD 1400W/36V

Performa motor diatur oleh komponen elektrik bernama *Electronic Speed Controller (ESC)* yang merupakan penghubung antara motor dan baterai. Adapun parameter-parameter motor yang dapat diatur menggunakan *ESC* antara lain adalah:

- *Rotation Per Minute (RPM)*
- Kuat arus maksimum
- Arah rotasi (*reversible* atau *irreversible*)
- Akselerasi dan deakselerasi *RPM*



Gambar IV.17 *Electronic Speed Controller*

#### IV.5.2. *Propeller*

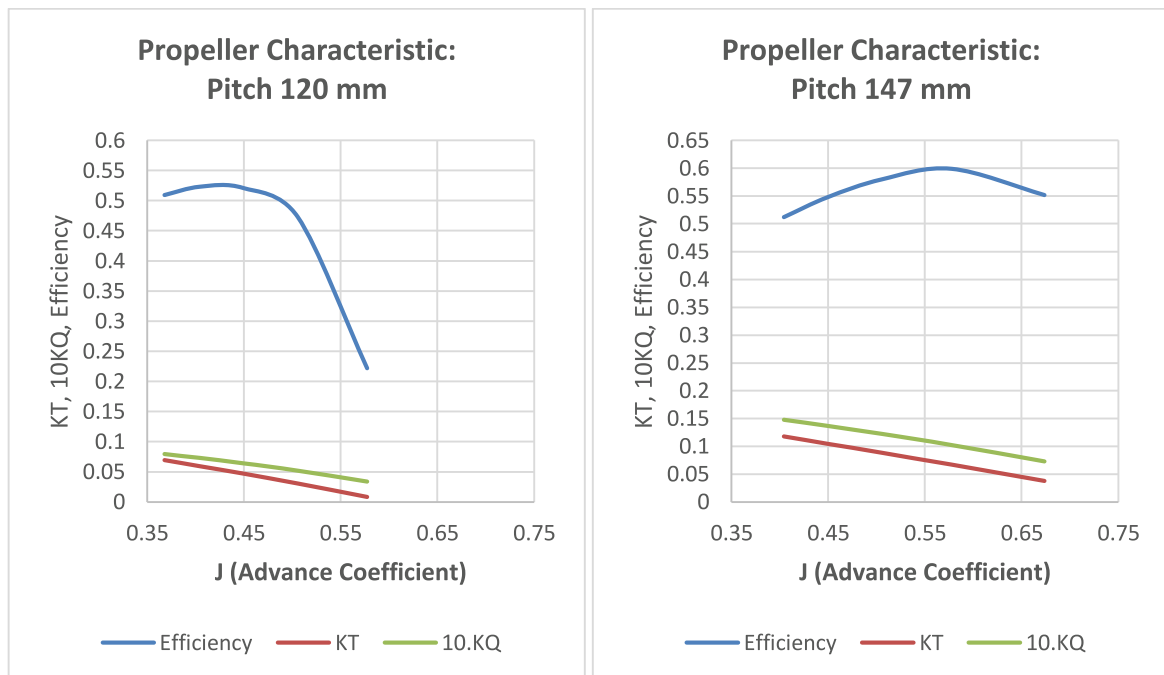
Peserta HYDROCONTEST diberi kebebasan untuk memilih *propeller* yang akan digunakan pada perlombaan baik *propeller* komersial maupun *propeller* yang didesain dan diproduksi sendiri. Untuk Tugas Akhir ini, *propeller* yang dipilih merupakan *propeller* komersial yaitu Watt & Sea *Adjustable Pitch Propeller*. *Propeller* ini kompatibel dengan motor yang digunakan dalam perlombaan dan besar *pitch*-nya dapat diatur agar sesuai dengan karakter motor dan memperoleh efisiensi yang optimum (proses optimisasi *pitch* dan *RPM* akan dibahas di IV.5.5). Karakteristik *propeller* berupa hasil *open water test* diberikan oleh pihak Watt & Sea. Data *open water test* yang *diberikan* merupakan nilai *KT*, *KQ*, dan efisiensi pada 3 variasi *pitch* dan 5 variasi *J* (*advance coefficient*).



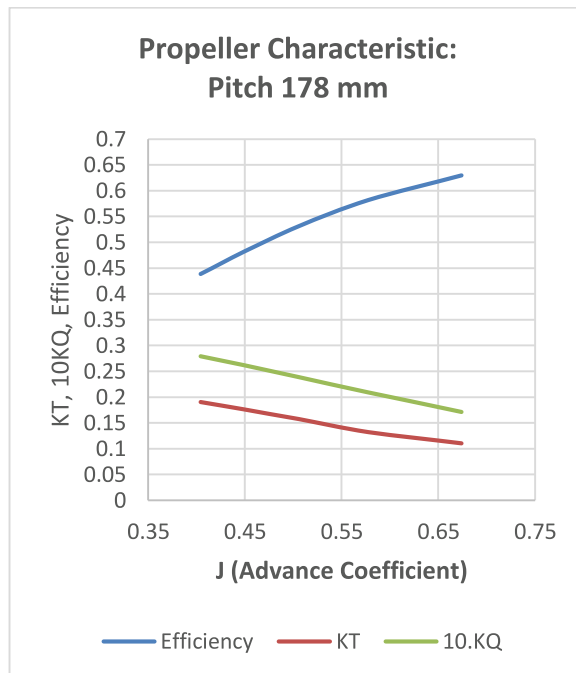
Gambar IV.18 *Watt & Sea Adjustable Pitch Propeller*

J	KT @ P=120mm	10.KQ @	$\eta$ @ P=120mm
0,5776	0,0081	0,0334	22,2%
0,5054	0,0304	0,0517	47,3%
0,4493	0,0467	0,0641	52,1%
0,4043	0,0592	0,0729	52,3%
0,3676	0,0691	0,0794	50,9%
J	KT @ P=147mm	10.KQ @	$\eta$ @ P=147mm
0,6739	0,0375	0,0729	55,2%
0,5776	0,0668	0,1025	59,9%
0,5054	0,0882	0,1223	58,0%
0,4493	0,1047	0,1366	54,8%
0,4043	0,1176	0,1477	51,2%
J	KT @ P=178mm	10.KQ @	$\eta$ @ P=178mm
0,6739	0,1007	0,1715	63,0%
0,5776	0,1326	0,2094	58,2%
0,5054	0,1575	0,2388	53,1%
0,4493	0,1763	0,2616	48,2%
0,4043	0,1908	0,2794	43,9%

Gambar IV.19 Data *open water test propeller* Watt & Sea.



Gambar IV.20 Diagram karakteristik *propeller* dengan *pitch* 120 mm (kiri) dan 147 mm (kanan).



Gambar IV.21 Diagram karakteristik *propeller* dengan *pitch* 178 mm.

Tim HYDRONE ITS juga mempertimbangkan penggunaan *propeller* Torqeedo v10/p350 Ultralight (*fixed pitch*) yang menurut testimoni tim peserta HYDROCONTEST lain memiliki performa yang baik. Meskipun demikian, belum ada data *open water test* untuk *propeller* ini sehingga perbandingan performanya terhadap performa *propeller* Watt & Sea hanya dapat dilakukan pada saat *trial*.



Gambar IV.22 Torqeedo v10/p350 Ultralight



#### IV.5.3. Pemosisian *Propeller*

Posisi *propeller* pada kapal merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi *propeller*. Dikarenakan dalam Tugas Akhir ini akan digunakan sistem *azimuth propulsion*, posisi *pod* juga akan mempengaruhi kemampuan *maneuvering* kapal. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam menentukan posisi *propeller* dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Aliran air yang masuk ke *propeller plane*

Kecepatan aliran air relatif terhadap *propeller* ( $V_a$ ) di daerah *wake* kapal akan lebih rendah dibandingkan kecepatan aliran air di luar daerah *wake*. Kecepatan aliran air yang masuk ke *propeller plane* mempengaruhi efisiensi *propeller* sehingga diupayakan agar *propeller* beroperasi di luar daerah *wake*. Dalam Tugas Akhir ini, daerah *wake* kapal dapat diketahui melalui visualisasi kecepatan aliran air pada proses simulasi *CFD* (Gambar IV.23).

2. Pengaruh posisi *propeller* terhadap *trim*

Karena dalam sistem *azimuth propulsion* posisi motor dan *propeller* tidak terpisah, maka posisi *pod* akan cukup berpengaruh pada titik berat kapal mengingat berat motor sendiri adalah 3,8 kg sehingga harus dipilih posisi *pod* yang tidak menyebabkan *trim*. Selain mempengaruhi *trim* akibat berat, *propeller* yang posisinya terlalu rendah di bawah VCG kapal akan menyebabkan *trim* saat *propeller* menghasilkan *thrust* seperti yang terjadi pada kapal *displacement catamaran* HYDRONE ITS dalam HYDROCONTEST 2017 (HYDRONE ITS, 2017). Kondisi *trim* berpengaruh pada peningkatan hambatan lambung kapal serta berkurangnya efisiensi *propeller* karena arah aliran air menjadi tidak tegak lurus dengan *propeller plane* (Islam, Veitch, Akinturk, Bose, & Liu, 2007).

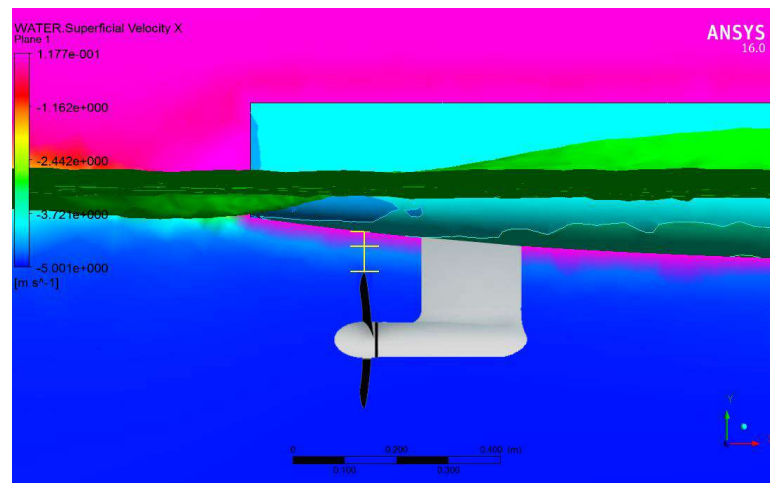
3. Pengaruh posisi *propeller* terhadap hambatan kapal

*Propeller* kapal tidak diposisikan di depan atau di sekitar *midship* kapal karena *propeller* akan mempercepat aliran di sekitar permukaan lambung kapal sehingga dapat meningkatkan *frictional resistance* (hambatan gesek berbanding lurus dengan kecepatan aliran fluida). Penulis juga memiliki hipotesa bahwa pemosisian *propeller* sedikit di depan *transom* akan mempercepat aliran air di sisi bawah *transom* sehingga meningkatkan *transom draft ratio* yang memiliki efek berupa aliran air yang semakin laminar di belakang *transom* (mengurangi hambatan residual) (Haase, Binns, Thomas, & Bose, 2015).

#### 4. Pengaruh posisi *propeller* terhadap *maneuvering*

Sebuah kapal dapat ber-*maneuver* akibat adanya gaya (baik dari *rudder* atau *azimuth thruster*) yang menyebabkan momen terhadap badan kapal. Semakin jauh gaya dari pusat rotasi kapal, gaya akan memiliki lengan yang lebih besar sehingga menghasilkan momen yang lebih besar. Atas dasar ini, *rudder* dan *azimuth thruster* akan semakin mudah membelokkan kapal apabila posisinya semakin jauh di belakang midship kapal.

Berdasarkan pertimbangan di atas, *propeller plane* diposisikan 24 cm dari AP (0,11 L) dengan *tip clearance* dari lambung kapal sebesar 8 cm agar *propeller* beroperasi di luar daerah *wake*.



Gambar IV.23 Kecepatan aliran air di sekitar lambung kapal berdasarkan hasil simulasi *CFD*.

Warna biru tua mengindikasikan kecepatan aliran tertinggi (5 m/s) dan warna merah muda mengindikasikan kecepatan aliran air terendah (0 m/s).

#### IV.5.4. Perancangan Sistem *Azimuth Propulsion*

Setelah menentukan posisi *propeller*, langkah selanjutnya adalah mendesain sistem propulsi kapal. Dalam Tugas Akhir ini, kapal didesain untuk menggunakan sistem *azimuth propulsion* dimana *pod* (motor), *propeller*, dan *strut* penopang *pod* (berbentuk seperti *rudder*) dapat berputar secara bersamaan terhadap satu sumbu vertikal sehingga mengubah arah *thrust*. Kapal dengan sistem *azimuth propulsion* memiliki kemampuan *maneuvering* yang lebih baik dibanding sistem *fixed propulsion* dan kemudi (Pakaste, Laukia, & Wilhelmson, 1999).

Beberapa komponen konstruksi sistem *azimuth propulsion* dalam Tugas Akhir ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. *Pod*

Merupakan motor penggerak utama kapal yang berada di luar lambung kapal. *pod* ini ditopang oleh *strut* yang menyerupai *rudder* dan dipasang *propeller* tanpa *gear box* atau *shaft* terpisah.

2. *Strut* atau *rudder*

Merupakan konstruksi dengan penampang berbentuk foil untuk menopang *pod*.

3. *Servo*

*Servo* adalah komponen elektrik yang berfungsi untuk memutar *pod* sehingga mengubah arah *thrust*. *Servo* yang digunakan oleh tim HYDRONE ITS adalah SAVOX SW-0241MG yang merupakan *waterproof servo* dengan torsi maksimal sebesar 40 kg.cm (4 N.m). Adapun spesifikasi dari *servo* ini adalah sebagai berikut:

- Torsi : 40 kg.cm (4 N.m)
- Kecepatan : 0.17 sec/60 deg
- Tegangan : 7.4 Volt
- Dimensi : 65.8 mm x 30 mm x 59.1 mm
- Berat : 200 gr



Gambar IV.24 SAVOX SW-0241MG

4. *Servo link*

Meneruskan torsi dari servo ke *stock* untuk memutar *pod*.

5. *Hollow stock*

Berfungsi untuk meneruskan torsi dari *servo* ke *pod* untuk mengubah arah *thrust* serta untuk meneruskan gaya reaksi *pod* terhadap *thrust propeller* ke badan kapal. *Stock*

yang digunakan merupakan *hollow stock* sehingga kabel motor dapat masuk melalui sisi dalam *stock* dan dihubungkan ke ESC.

6. Pipa

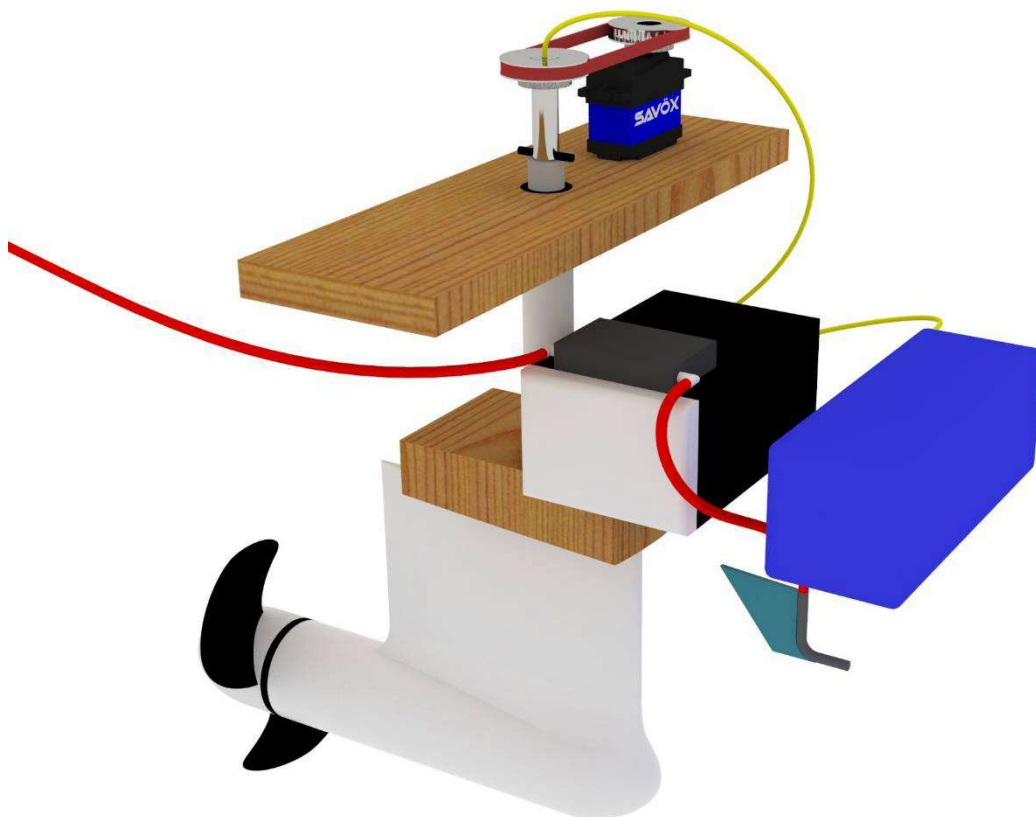
Pipa terletak di sisi luar *hollow stock* dan diantara balok *thrust block* (untuk mencegah air masuk ke dalam kapal).

7. Balok 1 (di bagian *bottom*)

Balok ini berfungsi sebagai *thrust block*.

8. Balok 2

Balok ini berfungsi sebagai *thrust block* sekaligus dudukan *servo*.



Gambar IV.25 Sistem *azimuth propulsion* dimana *servo* memutar motor, *propeller*, dan *rudder* sekaligus untuk mengubah arah *thrust* dan membelokkan kapal.

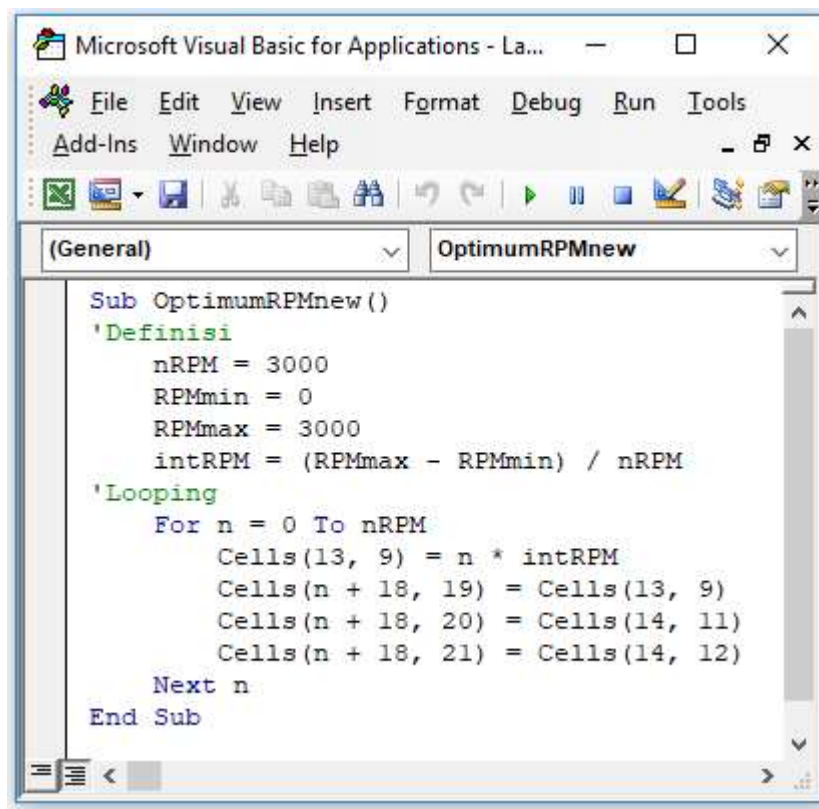
Dalam Tugas Akhir ini belum sempat dilakukan perhitungan *maneuvering* dikarenakan belum ditemukan metode yang tepat untuk menghitung *maneuvering* kapal dengan *azimuth propulsion*. Perhitungan dengan menggunakan *software* seperti MPP juga tidak dapat dilakukan dikarenakan kapal tidak memenuhi batasan yang diberikan oleh *software*.

#### IV.5.5. Optimisasi *Pitch* dan *RPM Propeller Watt & Sea*

Pemilihan *pitch* dan *RPM propeller* merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada kecepatan dan efisiensi kapal. Pemilihan *pitch* dan *RPM* yang tidak tepat akan menyebabkan *propeller* tidak memiliki efisiensi dan gaya dorong (*thrust*) yang optimal. Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan optimisasi pemilihan *pitch* dan *RPM* dengan dua objektif, yaitu:

1. Optimisasi *pitch* dan *RPM* untuk memperoleh kecepatan maksimum pada *Lightweight Race*.
2. Optimisasi *pitch* dan *RPM* untuk memperoleh jumlah *lap* maksimum pada *Long-Distance Race*.

Metode optimisasi yang digunakan merupakan metode *Global Optimization (Exhaustive Search)* dengan menggunakan Microsoft Excel dan Microsoft Visual Basic for Application (VBA). Microsoft Excel digunakan untuk mengolah data *input*, sementara Microsoft Visual Basic digunakan untuk membuat program automasi iterasi perhitungan dengan variabel yang berbeda (*looping*).



Gambar IV.26 Program untuk *looping* variasi *RPM*

Optimisasi dilakukan dengan menggunakan data *open water test propeller* (tabel KT, KQ, & J), data hambatan kapal, serta data komponen elektrik seperti daya motor dan kapasitas baterai. Optimisasi ini dilakukan untuk menguji tiga variasi *pitch* (120, 147, dan 178 mm) serta variasi *RPM* dari 0 hingga 3000 (interval = 1) untuk mendapatkan kombinasi yang menghasilkan kecepatan tertinggi dan jumlah *lap* terbanyak.

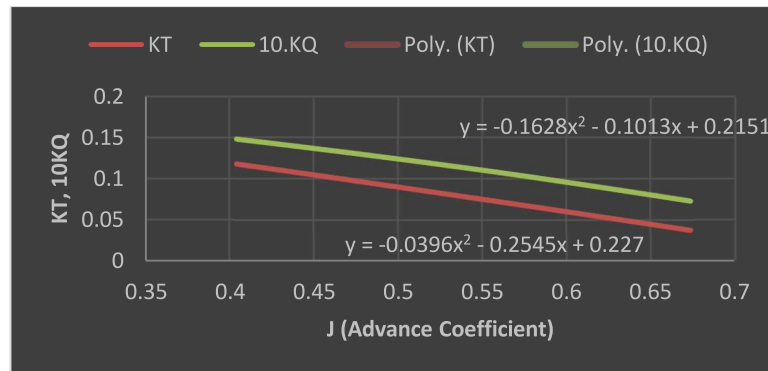
Untuk mengetahui kecepatan yang diperoleh pada suatu *RPM*, maka harus dicek pada kecepatan berapa *thrust* yang dihasilkan *propeller* sama besarnya dengan hambatan kapal yang diperoleh dari grafik hambatan kapal pada analisa *CFD*. Pengecekan dilakukan dengan menghitung nilai KT untuk memperoleh besar *thrust* pada berbagai *advance coefficient* (J) yang merupakan fungsi kecepatan (*Va*), *RPM*, dan diameter *propeller*.

$$J = \frac{Va}{n \cdot D} \quad (IV.1)$$

dimana

$$n = \frac{RPM}{60} \quad (IV.2)$$

Setelah nilai J diperoleh, maka nilai KT dan KQ dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan garis yang dibuat dari grafik *open water test propeller* yang merupakan fungsi dari *advance coefficient* (J).



Gambar IV.27 Data KT, KQ, dan J dalam bentuk grafik.

Nilai KT kemudian digunakan untuk menghitung besar *thrust* yang kemudian akan dibandingkan dengan besar hambatan kapal pada kecepatan yang sama yang diperoleh dari grafik hambatan kapal (dengan persamaan garis). Perlu diingat bahwa *Va* sama besar dengan *Vs* karena *propeller* bekerja di luar daerah *wake*. Kecepatan dimana *thrust* sama besar dengan

hambatan dipilih sebagai *output* kecepatan pada suatu *RPM* dan digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

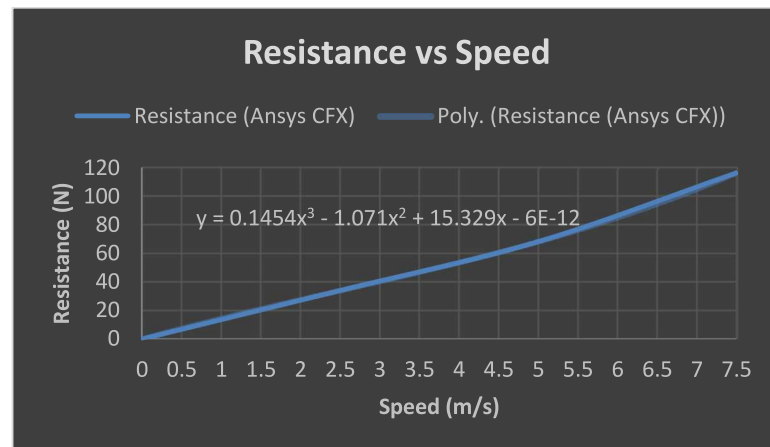
$$T(Va) = KT \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \geq RT(Vs) \quad (IV.3)$$

Besar daya yang dibutuhkan pada *RPM* dan kecepatan tertentu (atau pada *J* tertentu) dapat diperoleh dengan menghitung torsi yang diperoleh dari nilai *KQ*.

$$Required\ Power = \frac{2\pi \cdot n \cdot Q}{motor\ efficiency} \quad (IV.4)$$

dimana

$$Q = KQ \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5 \quad (IV.5)$$



Gambar IV.28 Grafik hambatan total kapal.

Setelah mendapatkan besar *power* yang dibutuhkan, dilakukan validasi kecepatan kapal dengan beberapa batasan, diantaranya:

1. Nilai daya yang dibutuhkan harus lebih kecil atau sama dengan dari input daya motor (1400 Watt). Jika tidak maka sistem akan mengalami *cutoff* karena terjadi *overload* pada motor.
2. Nilai *J* harus berada pada rentang *J* dari data *open water test* atau dengan kata lain tidak dilakukan ekstrapolasi agar perhitungan tetap akurat.

Kombinasi *RPM* dan kecepatan yang tidak memenuhi batasan di atas maka kecepataannya dianggap tidak valid dan nilainya otomatis diubah menjadi nol sehingga tidak digunakan pada tahap perhitungan selanjutnya yaitu perhitungan jumlah *lap*. Perhitungan jumlah *lap* dilakukan dengan membagi kapasitas baterai (7.8 Ah) dengan besar kuat arus yang dibutuhkan pada *RPM* dan kecepatan tertentu sehingga didapatkan durasi bertahan sistem yang kemudian dikalikan dengan kecepatan untuk memperoleh jarak tempuh. Jarak tempuh dibagi dengan panjang lintasan untuk memperoleh jumlah *lap*.

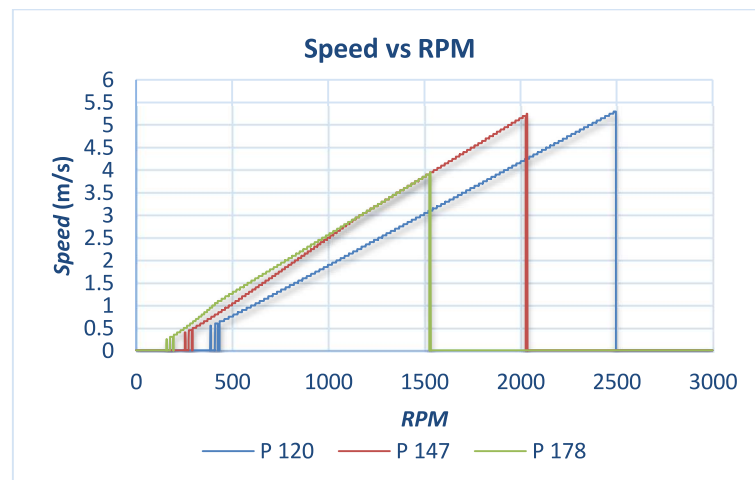
$$P = V \cdot I; I = \frac{P}{V} \quad (\text{IV.7})$$

$$\text{endurance (s)} = \frac{\text{kapasitas baterai}}{I \times 60} \quad (\text{IV.8})$$

$$\text{jumlah lap} = \frac{vs \times \text{endurance}}{\text{panjang lintasan}} \quad (\text{IV.9})$$

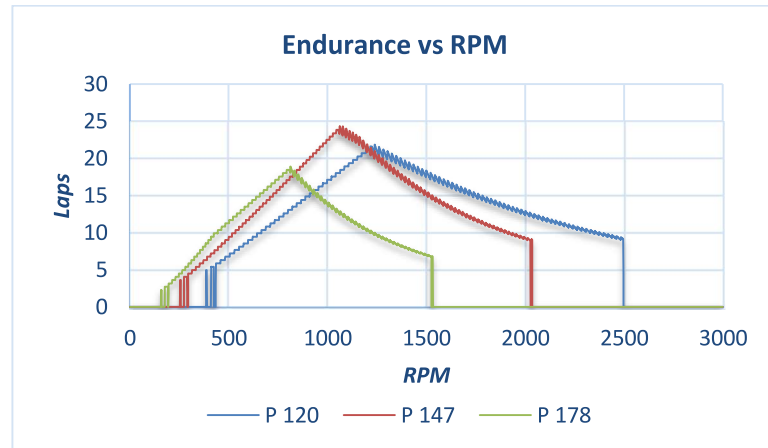
Semua proses ini dilakukan berulang-ulang (iterasi) pada berbagai variasi *RPM* (0 – 3000) dan *pitch* dengan automasi yang kemudian hasilnya direkap dan disajikan dalam bentuk grafik (Gambar IV.30 dan Gambar IV.31). Nilai *pitch propeller* dan *RPM* yang dipilih untuk kapal dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Tabel IV.10.

Gambar IV.29 Diagram alir optimisasi pemilihan *pitch* dan *RPM*



Gambar IV.30 Grafik kecepatan kapal terhadap *RPM* pada tiga variasi *pitch*





Gambar IV.31 Grafik jumlah lap maksimum terhadap *RPM* pada tiga variasi *pitch*.

Tabel IV.10 Pemilihan *pitch* dan *RPM* untuk *race* berdasarkan hasil optimisasi.

<i>Race Category</i>	<i>Pitch (mm)</i>	<i>RPM</i>	<i>va = vs (m/s)</i>	<i>Thrust (N)</i>	<i>Resistance (N)</i>	<i>Power (Watt)</i>	<i>Current (A)</i>	<i>Endurance (laps)</i>
<i>Lightweight Race</i>	147	2033	5.25	123.76	72	1384.37	38.45	6
<i>Long-Distance Race</i>	147	1078	2.75	37.13	37.08	213.78	5.94	24

## IV.6. Pembuatan Model 3D, Pembuatan Rencana Umum, Pengecekan *Trim*, dan Pengecekan Stabilitas

### IV.6.1. Pembuatan Model 3D

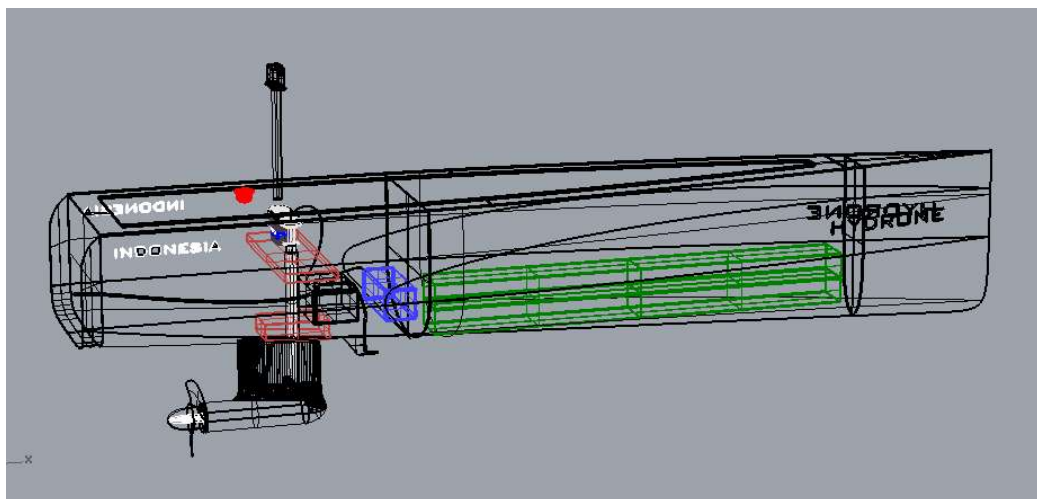
Dalam Tugas Akhir ini, pembuatan model 3D dilakukan secara paralel dengan pengecekan *trim* dan stabilitas kapal. Hal ini dikarenakan dengan model 3D, perancang kapal dapat memahami bentuk dan ruang kapal secara seutuhnya sehingga memudahkan untuk melakukan pemosisian semua komponen kapal. *Software 3D modeling* (Rhino 5) yang digunakan dalam Tugas Akhir ini juga dilengkapi dengan fitur untuk mencari pusat massa sebuah objek sehingga akan sangat membantu pada proses perhitungan *trim* dan stabilitas.

Pembuatan model 3D dilakukan dengan *software* Rhino yang merupakan aplikasi CAD dengan basis rekayasa *NURB surface*. *Software* ini kompatibel dengan Maxsurf Modeler sehingga lambung yang telah didesain di Maxsurf Modeler dapat langsung di-*import* ke dalam Rhino.

Proses pembuatan model 3D kapal secara garis besar dapat dibagi menjadi langkah-langkah berikut:

- Meng-*import* lambung kapal yang dibuat di Maxsurf Modeler ke Rhino.
- Membuat model 3D komponen-komponen kapal yang telah diketahui bentuk dan ukurannya atau *import* model 3D komponen jika sudah tersedia (beberapa model 3D komponen dalam Tugas Akhir ini diunduh dari [www.grabcad.com](http://www.grabcad.com)).
- Mengatur tata letak setiap komponen pada kapal.
- Menganalisa titik berat dari tiap objek dengan fitur "*analyze area/volume centroid*"
- Data titik berat digunakan untuk pengecekan *trim* dan stabilitas dengan *software* Maxsurf Stability. Apabila kapal masih mengalami *trim* atau stabilitasnya kurang baik, maka tata letak komponen diatur ulang.
- *Finishing* (pemberian material dan warna pada objek).
- *Rendering*.

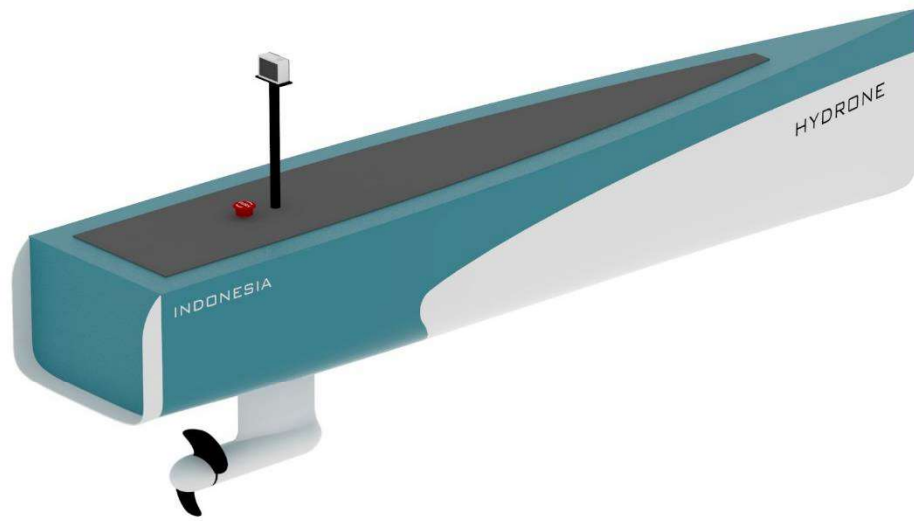
Hasil akhir dari proses pembuatan 3D model dapat dilihat pada gambar Gambar IV.33 dan Gambar IV.34.



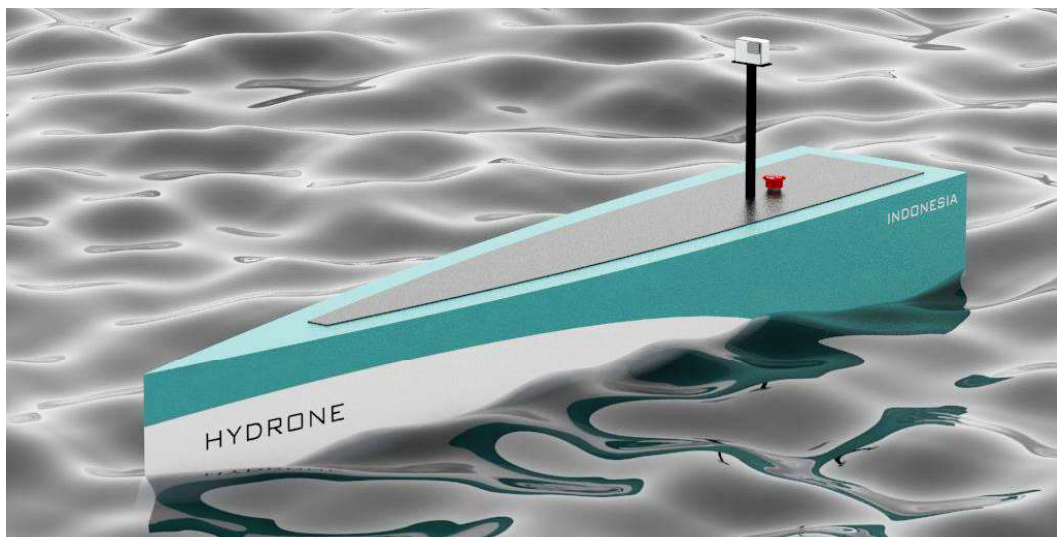
Gambar IV.32 Pengaturan tata letak komponen kapal pada *software* Rhino.

#### IV.6.2. Pengecekan *Trim* dan Stabilitas

Setelah lambung kapal dicetak dan selesai didempul, lambung kapal ditimbang dan memiliki berat 5,7 kg. Menurut tim HYDRONE ITS, perkiraan berat lambung kapal apabila telah selesai diproduksi adalah 7 kg. Data ini bersamaan dengan data-data berat komponen kapal yang diperoleh penulis serta data titik berat yang diperoleh dari model 3D digunakan sebagai data input *loadcase* untuk melakukan analisa *trim* dan stabilitas kapal dengan *software* Maxsurf Stability.



Gambar IV.33 Model 3D kapal setelah proses *rendering*.



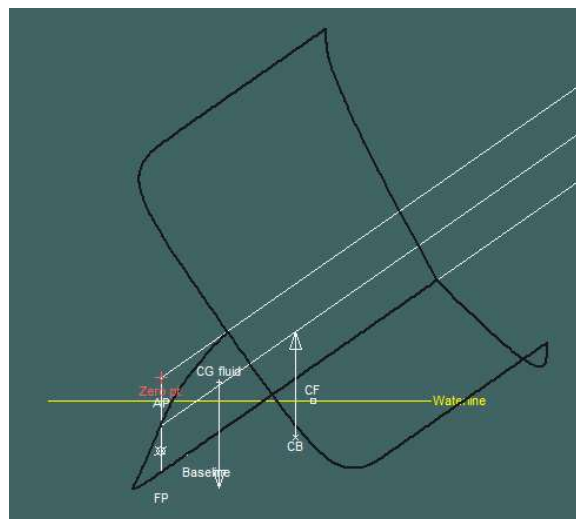
Gambar IV.34 Model 3D kapal setelah proses *rendering* dengan tambahan *environment*.

Pengujian *trim* dilakukan dengan memilih fitur analisa "*Equilibrium*" pada Maxsurf Stability. Apabila kapal masih memiliki *trim* yang besar, maka pemosisian beban dan komponen kapal direvisi sampai kapal tidak mengalami *trim*. Loadcase kapal dimana *trim* kapal sudah mendekati 0 derajat dapat dilihat pada Gambar IV.35.

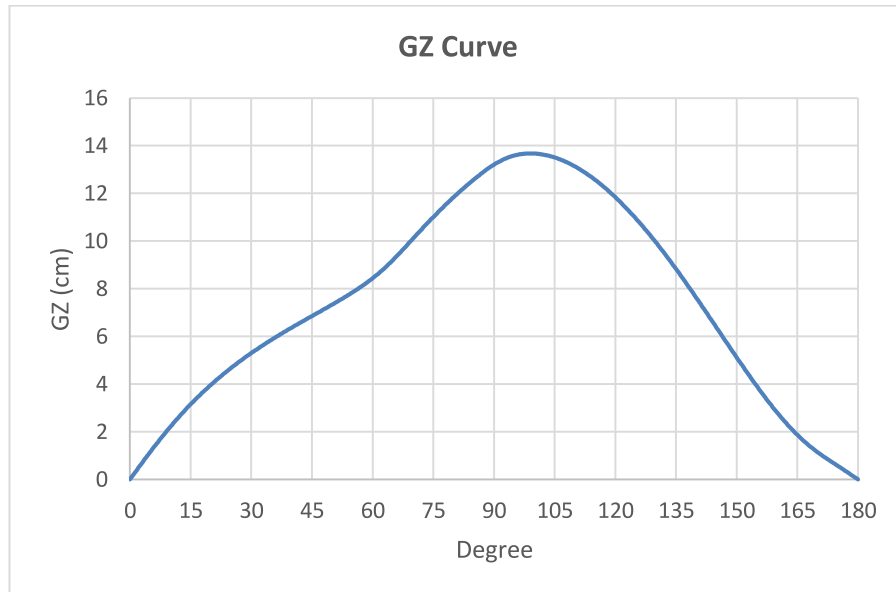
	Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume cm <sup>3</sup>	Total Volume cm <sup>3</sup>	Long. Arm cm	Trans. Arm cm	Vert. Arm cm
1	Hull	1	7.0	7.0			102.01	0.00	18.41
2	Motor	1	3.8	3.8			37.01	0.00	-12.39
3	Strut	1	0.6	0.6			0.01	0.00	0.41
4	Propeller	1	0.5	0.5			22.01	0.00	-12.39
5	Rudder	1	0.5	0.5			6.01	0.00	-8.59
6	Battery	1	2.0	2.0			70.60	0.00	11.30
7	ESC	1	0.7	0.7			56.00	0.00	11.30
8	Servo	1	0.2	0.2			7.50	0.00	19.30
9	Load 1	1	10.0	10.0			105.00	0.00	8.00
10	Load 2	1	10.0	10.0			155.00	0.00	8.00
11	Ballast	1	0.7	0.7			200.01	0.00	4.41
12	Total Loadcase			36.0	0.00	0.00	105.29	0.00	7.47
13	FS correction								0.00
14	VCG fluid								7.47

Gambar IV.35 Loadcase kapal final.

Selanjutnya untuk mendapatkan kurva GZ kapal, maka dapat dilakukan analisa “*Large Angle Stability*” dengan *software* yang sama. Tidak ada kriteria khusus terkait stabilitas kapal yang ditetapkan oleh panitia perlombaan. Meskipun demikian, agar kapal memiliki stabilitas yang baik, maka kapal dedesain agar semua komponennya berada di titik yang serendah mungkin pada kapal sehingga kapal lebih stabil dan tidak memiliki *angle of loll* (nilai GZ baru positif ketika mencapai sudut *heeling* tertentu atau kapal tidak stabil dalam keadaan tegak). Kurva GZ kapal dapat dilihat pada Gambar IV.37. Dari grafik ini dapat dilihat bahwa kapal memiliki GZ yang selalu positif yang menandakan bahwa kapal akan kembali tegak pada sudut *heeling* berapapun.



Gambar IV.36 Pengujian *large angle stability* untuk memperoleh kurva GZ.



Gambar IV.37 Kurva GZ kapal.

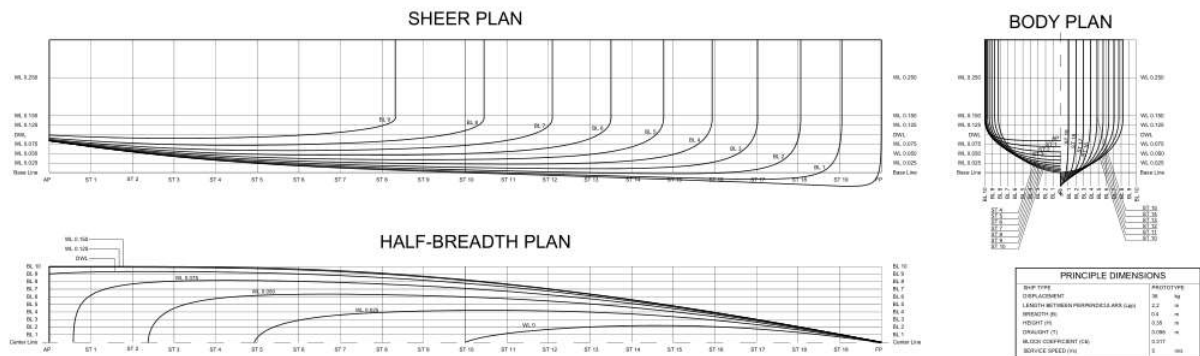
Kestabilan kapal dikonfirmasi dengan pengujian di Kolam 8 ITS. Ketika kapal dimiringkan pada sudut *heel* cukup besar sekalipun (sekitar 60 derajat), kapal akan kembali tegak dengan cukup cepat.



Gambar IV.38 Salah satu anggota tim HYDRONE ITS menguji stabilitas kapal di Kolam 8 ITS. Kapal selalu kembali ke posisi tegak dengan cukup cepat setelah dimiringkan.

#### IV.6.3. Rencana Garis

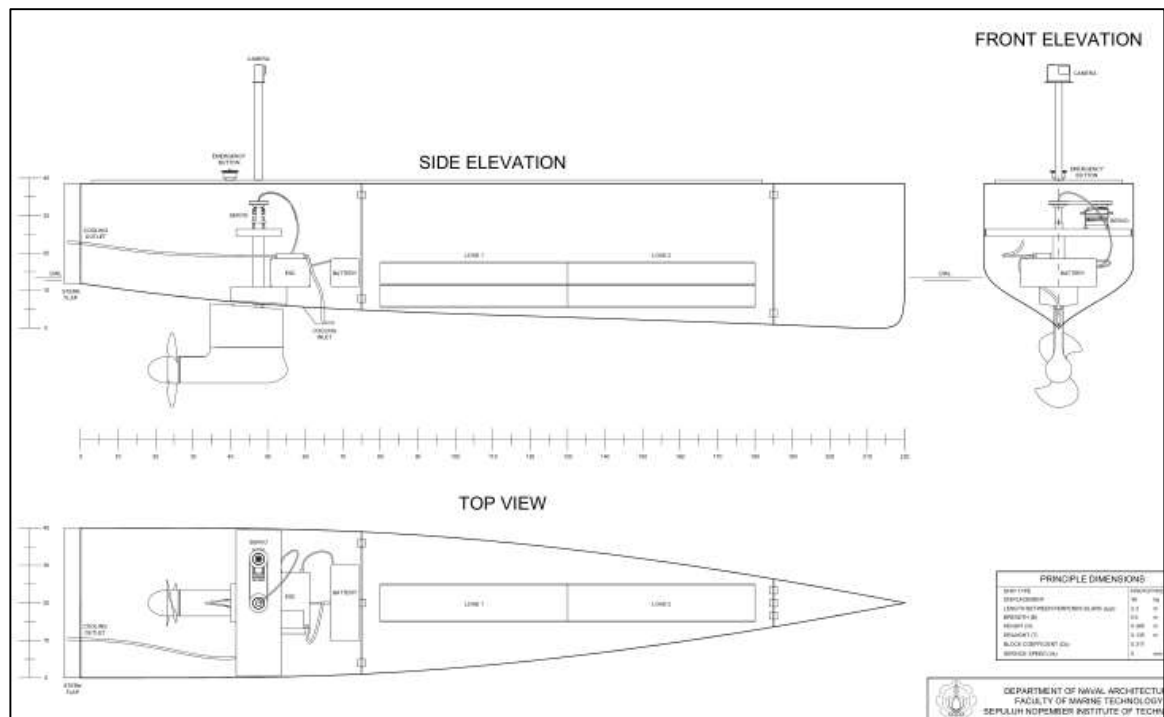
Rencana garis dibuat dengan *software* Maxsurf Modeler dan AutoCAD. Garis-garis kapal (*station*, *buttock line*, dan *waterline*) dibuat di Maxsurf Modeler dengan melakukan pengaturan *design grid* yang hasilnya kemudian di-export ke AutoCAD untuk disusun sesuai standar gambar teknik.



Gambar IV.39 Rencana garis M.V. Hydrone 2018

#### IV.6.4. Rencana Umum

Bentuk kapal dan pemosisian komponen kapal berdasarkan model 3D diubah ke dalam format gambar teknik dengan software AutoCAD.



Gambar IV.40 Rencana umum.

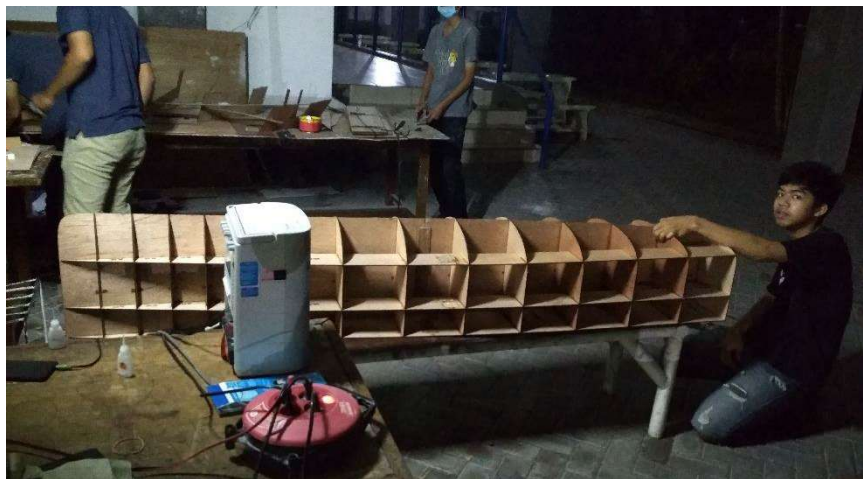
#### IV.7. Produksi Kapal

Kapal diproduksi oleh tim HYDRONE ITS yang terdiri dari mahasiswa ITS angkatan 2015 dan 2016 dari beberapa departemen. Proses produksi dilakukan di sekitar wilayah Departemen Teknik Perkapalan ITS dan di bengkel Desain Produk ITS mulai dari 25 April



2018. Proses produksi kapal ini secara garis besar dibagi menjadi proses produksi lambung kapal dan produksi konstruksi sistem kapal.

Proses produksi lambung kapal sendiri merupakan proses yang paling membutuhkan waktu dan terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu pembuatan cetakan positif, menyetak cetakan negatif, penyetakan kapal, dan *finishing*. Cetakan positif dibuat dengan menyusun kerangka yang diperoleh dari hasil *laser cutting* pada papan kayu (triplek) mengikuti bentuk penampang melintang kapal. Kerangka ini kemudian ditutup dengan kayu balsa sehingga menyerupai bentuk lambung kapal yang akan digunakan untuk membuat cetakan negatif. Setelah cetakan negatif terbentuk dan diperhalus, lambung kapal dapat dicetak dan dihaluskan dengan hasil seperti pada Gambar IV.43 yang kemudian dicat sesuai dengan desain.



Gambar IV.41 Kerangka cetakan lambung kapal



Gambar IV.42 Cetakan positif



Gambar IV.43 Lambung kapal hasil cetakan setelah permukaannya dihaluskan.

Setelah lambung kapal dicetak dan dihaluskan, dilakukan pengecekan kebocoran dan pengecekan stabilitas kapal dengan pembebanan sesuai *displacement* kapal (Gambar IV.38). Produksi kapal ditargetkan untuk selesai pada pertengahan Juli 2018 dan akan dilanjutkan dengan proses trial dan optimisasi sistem.



Gambar IV.44 Pengecatan kapal.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

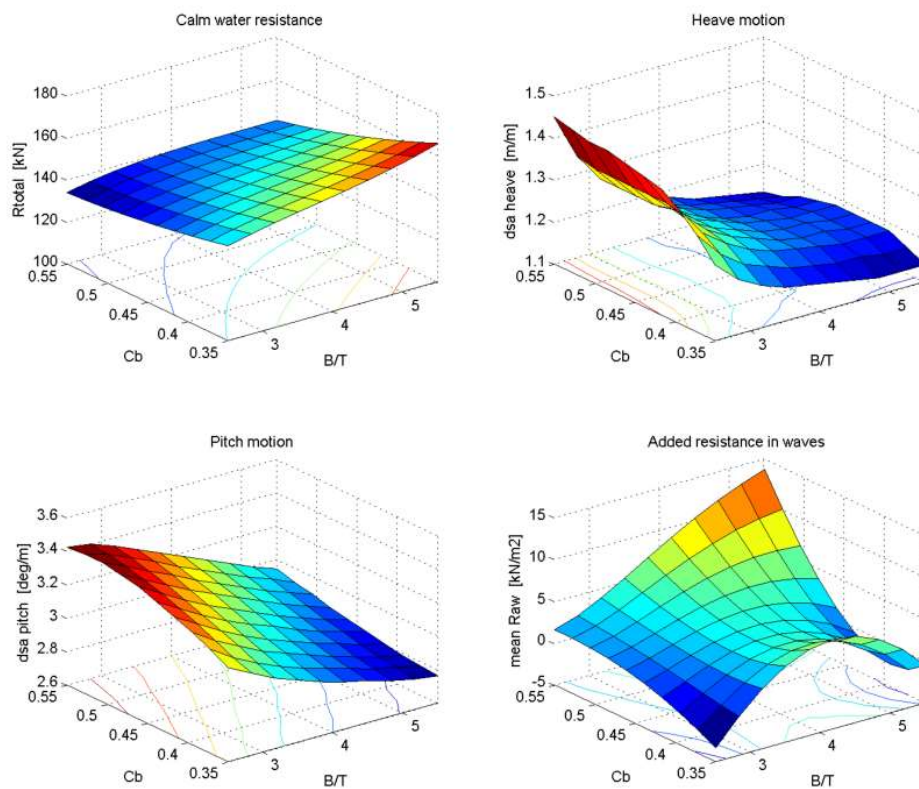
#### **V.1. Kesimpulan**

1. Model kapal awal yang dibuat adalah *slender displacement monohull* dengan *round bilge* dan *transom stern*.
2. Hasil simulasi *CFD* menunjukkan bahwa model dengan *Axe bow* memiliki hambatan paling kecil diikuti dengan *vertical bow* dan *conventional bow*. Visualisasi pada hasil simulasi *CFD* menunjukkan bahwa model *Axe bow* memiliki tinggi gelombang yang paling kecil dibanding dua model lainnya dan ketiga model menghasilkan gelombang yang kecil pada bagian *stern*. Hasil dari simulasi *CFD* juga digunakan untuk menentukan posisi *propeller* agar beroperasi di luar daerah *wake*.
3. Hasil optimisasi panjang kapal dimana kapal divariasikan panjangnya (1.9, 2.2, dan 2.5 meter) menunjukkan bahwa semakin panjang kapal, maka hambatan kapal akan semakin kecil. Meskipun demikian, perbedaan hambatan antara panjang kapal 2.2 dan 2.5 meter sangat kecil sehingga dipilih panjang kapal 2.2 meter dengan pertimbangan kapal akan memiliki dimensi yang lebih kecil saat melakukan pengiriman.
4. *Lines Plan* kapal dapat dilihat pada bagian lampiran.
5. Rencana umum (*general arrangement*) dapat dilihat pada bagian lampiran.
6. Berdasarkan hasil optimisasi sistem propulsi, maka *pitch* yang dipilih adalah 147 mm dengan *RPM* sebesar 2033 untuk kategori *Lightweight Race* dan sebesar 1078 untuk kategori *Long-Distance Race*. Dengan pemilihan *pitch* dan *RPM* ini, kapal diperkirakan akan mencapai kecepatan tertinggi 5,25 m/s dan jumlah *lap* terbanyak 24 *lap*.
7. Model 3D kapal dapat dilihat pada Pembuatan Model 3DIV.6.1.

#### **V.2. Saran**

1. Perlu dilakukan optimisasi kapal dengan variasi rasio B/T dan C<sub>b</sub> yang tidak sempat dilakukan dalam Tugas Akhir ini. Variasi B/T dan C<sub>b</sub> memiliki pengaruh pada performa kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.1.

2. Desain kapal perlu dikembangkan agar memiliki *directional stability* yang lebih baik sekalipun belum terpasang *pod* atau *rudder*. *Directional stability* yang buruk akan menyulitkan kapal untuk ber-*maneuver*
3. Mempertimbangkan penggunaan material serat karbon sebagai bahan dasar kapal. Serat karbon dikenal memiliki bobot yang lebih ringan dibanding *fiberglass* pada kekuatan mekanik yang sama sehingga dapat mengurangi bobot kapal.
4. Melakukan pengembangan dan riset *hydrofoil* untuk meningkatkan efisiensi kapal.



Gambar V.1 Pengaruh variasi  $B/T$  dan  $C_b$  pada performa kapal (MARIN).

## DAFTAR PUSTAKA

- Dahna, F. R. (2018). *Analisis Alternatif Hull Form Self-Propelled Barge untuk Meningkatkan Performa Hidrodinamika*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- H. Schneekluth, V. B. (1998). *Ship Design for Efficiency & Economy*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Haase, M., Binns, J., Thomas, G., & Bose, N. (2015). *Wave-piercing Catamaran Transom Stern Ventilation Process*.
- HYDRONE ITS. (2017). *Laporan Pertanggungjawaban Batharasurya Hydrone ITS: HYDROCONTEST 2017*. Surabaya.
- Islam, M., Veitch, B., Akinturk, A., Bose, N., & Liu, P. (2007). *Experiments with Podded Propulsors in Static Azimuthing Conditions*. NRC.
- Keuning, J., & Pinkster, J. (1995). Optimisation of the seakeeping behaviour of a fast monohull. *Proceedings of the Third International Conference on Fast Sea Transportation*. Lübeck.
- Keuning, J., Toxopeus, S., & Pinkster, J. (1997). *The Effect of Bowshape on the Seakeeping Performance of a Fast Monohull*.
- MARIN. (n.d.). The MARIN Systematic Series Fast Displacement Hulls.
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2011). *Ship Resistance and Propulsion*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Molland, A., Wellicome, J., & Couser, P. (1994). *Resistance Experiments on A Systematic Series of High Speed Displacement Catamarans Forms: Variation of Length-Displacement Ratio and Breadth-Draught Ratio*. Southampton: University of Southampton.
- Pakaste, R., Laukia, K., & Wilhelmson, M. (1999). *Experience with Azipod Propulsion Systems on Board Marine Vessels*. ABB Review.
- Papanikolaou, A. (2014). *Ship Design: Methodologies of Preliminary Design*. SPRINGER.
- Romadhana, F. (2016). *Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Landing Craft Tank (LCT) Menjadi Kapal Motor Penyeberangan (KMP) Tipe Ro-Ro Untuk Rute Ketapang (Kabupaten Banyuwangi) - Gilimanuk (Kabupaten Jember)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Setijoprajudo. (1999). *Diktat Metode Optimisasi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sid'qon, H. (2015). *Kajian Bentuk Stern Hull Kapal Shallow Draft Untuk Meningkatkan Performance Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

## LAMPIRAN

Lampiran 2 *Lines Plan*

Lampiran 3 *General Arrangement*

Lampiran 4 Spesifikasi Motor

Lampiran 5 Spesifikasi *Propeller*

Lampiran 6 Spesifikasi Muatan

Lampiran 7 Perhitungan Teknis

## BIODATA PENULIS



Pieter Mario Fernandez (Penulis) dilahirkan di Jakarta, 1 Oktober 1996 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Sunodia Samarinda, melanjutkan ke SD Kristen Kalam Kudus Batam, kemudian melanjutkan ke SMPN 6 Batam, SMAN 1 Batam, dan diterima di Departemen Teknik Perkapalan ITS pada tahun 2014 melalui jalur undangan.

Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam Departemen Hubungan Luar HIMATEKPAL sebagai *staff Public Relation* pada kepengurusan 2015/2016 dan menjadi Kepala Divisi Relasi Alumni pada kepengurusan 2016/2017. Penulis juga menjadi *grader* mata kuliah Gambar Teknik (AutoCAD) serta secara non-formal membuka kursus privat 3D *modelling* untuk mahasiswa ITS.

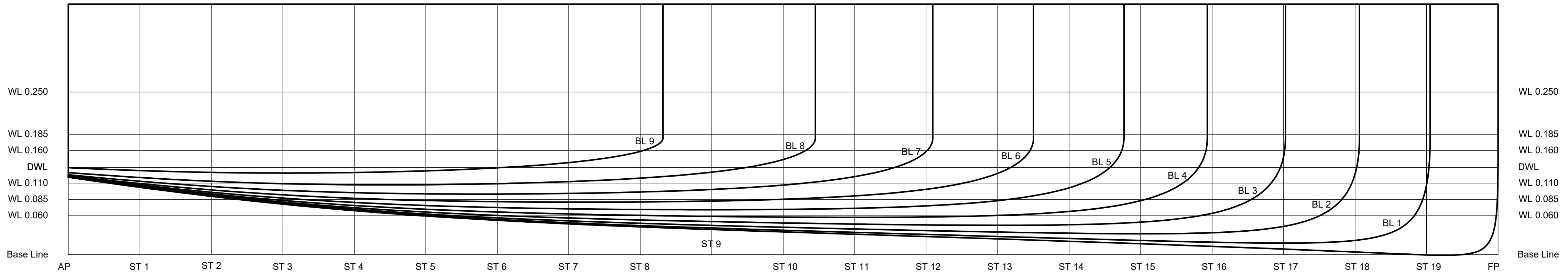
Pada tahun ketiga perkuliahan, Penulis bersama beberapa mahasiswa Teknik Perkapalan lainnya menginisiasi pembentukan tim HYDRONE ITS dan menjabat sebagai *Communication Officer* untuk mengikuti perlombaan HYDROCONTEST 2017 di St-Tropez, Perancis. Pada kepengurusan baru dari tim ini (2017/2018), Penulis menjabat sebagai *Supervisor* tim untuk bagian riset, desain, dan propulsi.

Email: [pietermariof@gmail.com](mailto:pietermariof@gmail.com)

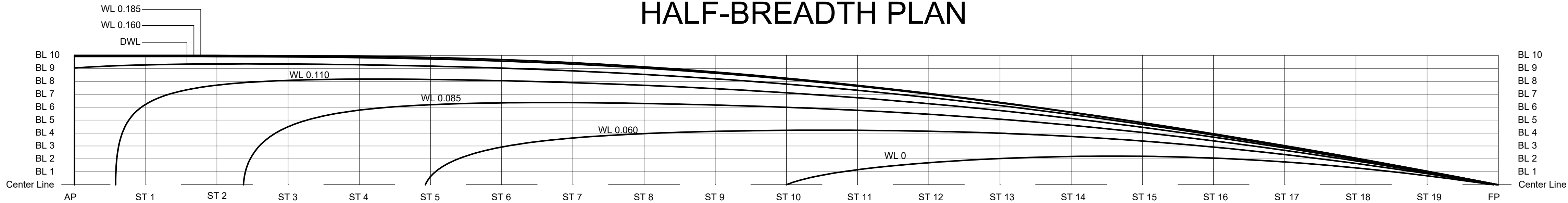
TABLE OF WL (m)								
	WL 0	WL 0.060	WL 0.085	WL 0.110	DWL	WL 0.140	WL 0.185	WL 0.250
AP	-	-	-	-	0.180	0.198	0.200	0.200
ST 1	-	-	-	0.124	0.185	0.198	0.200	0.200
ST 2	-	-	-	0.124	0.185	0.198	0.200	0.200
ST 3	-	-	0.090	0.161	0.187	0.198	0.200	0.200
ST 4	-	-	0.115	0.163	0.186	0.197	0.199	0.199
ST 5	-	0.013	0.124	0.163	0.183	0.194	0.197	0.197
ST 6	-	0.058	0.127	0.161	0.180	0.191	0.193	0.193
ST 7	-	0.072	0.127	0.158	0.176	0.186	0.189	0.189
ST 8	-	0.079	0.126	0.154	0.171	0.180	0.182	0.182
ST 9	-	0.083	0.123	0.149	0.164	0.173	0.174	0.174
ST 10	0.000	0.084	0.120	0.142	0.156	0.163	0.165	0.165
ST 11	0.023	0.084	0.115	0.134	0.146	0.152	0.154	0.154
ST 12	0.034	0.083	0.109	0.125	0.135	0.140	0.141	0.141
ST 13	0.040	0.080	0.101	0.115	0.122	0.127	0.127	0.127
ST 14	0.044	0.075	0.092	0.103	0.109	0.112	0.112	0.112
ST 15	0.044	0.068	0.081	0.089	0.093	0.096	0.096	0.096
ST 16	0.041	0.058	0.068	0.074	0.077	0.078	0.079	0.079
ST 17	0.035	0.047	0.053	0.057	0.059	0.060	0.060	0.060
ST 18	0.026	0.033	0.037	0.039	0.040	0.041	0.041	0.041
ST 19	0.014	0.017	0.019	0.020	0.021	0.021	0.021	0.021
FP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TABLE OF BL (m)											
	BL 0	BL 1	BL 2	BL 3	BL 4	BL 5	BL 6	BL 7	BL 8	BL 9	
AP	0.084	0.084	0.084	0.084	0.085	0.085	0.086	0.088	0.091	0.099	
ST 1	0.069	0.069	0.069	0.070	0.071	0.072	0.074	0.078	0.084	0.094	
ST 2	0.055	0.055	0.056	0.057	0.058	0.061	0.065	0.070	0.078	0.091	
ST 3	0.043	0.043	0.044	0.046	0.048	0.052	0.057	0.064	0.074	0.091	
ST 4	0.033	0.033	0.035	0.037	0.041	0.045	0.052	0.060	0.072	0.091	
ST 5	0.024	0.025	0.027	0.030	0.035	0.041	0.048	0.059	0.073	0.094	
ST 6	0.018	0.019	0.022	0.025	0.031	0.037	0.046	0.058	0.074	0.098	
ST 7	0.012	0.014	0.017	0.021	0.028	0.036	0.046	0.059	0.077	0.107	
ST 8	0.008	0.010	0.013	0.018	0.025	0.034	0.046	0.061	0.083	0.124	
ST 9	0.004	0.006	0.010	0.016	0.024	0.034	0.047	0.065	0.092	-	
ST 10	0.000	0.003	0.007	0.014	0.023	0.035	0.050	0.072	0.111	-	
ST 11	-0.004	-0.001	0.004	0.012	0.022	0.036	0.055	0.085	-	-	
ST 12	-0.007	-0.004	0.002	0.011	0.023	0.040	0.065	0.124	-	-	
ST 13	-0.011	-0.007	0.000	0.010	0.025	0.048	0.090	-	-	-	
ST 14	-0.014	-0.010	-0.002	0.011	0.031	0.068	-	-	-	-	
ST 15	-0.018	-0.013	-0.003	0.015	0.048	-	-	-	-	-	
ST 16	-0.022	-0.016	-0.001	0.029	-	-	-	-	-	-	
ST 17	-0.026	-0.017	0.008	0.116	-	-	-	-	-	-	
ST 18	-0.031	-0.013	0.089	-	-	-	-	-	-	-	
ST 19	-0.035	0.072	-	-	-	-	-	-	-	-	
FP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

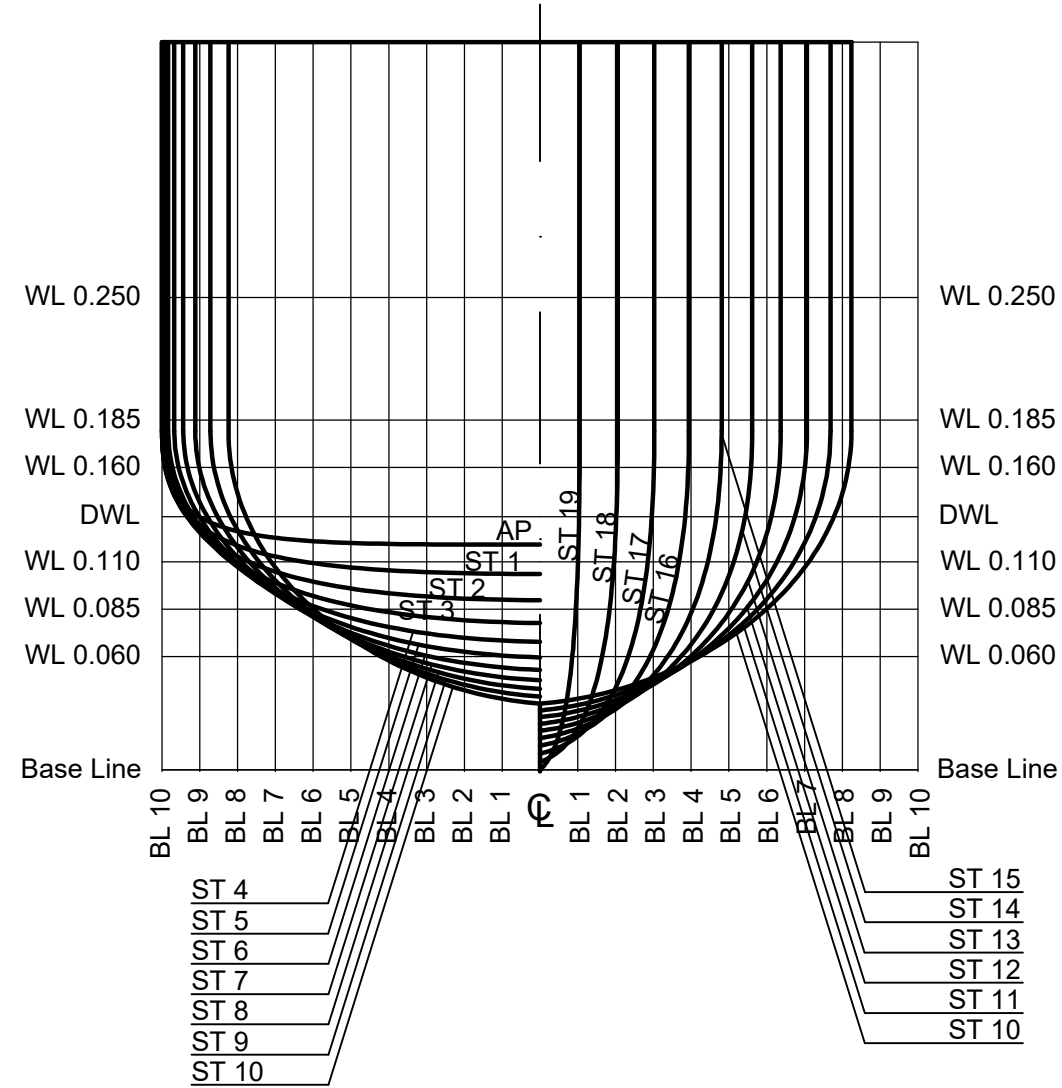
## SHEER PLAN



## HALF-BREADTH PLAN

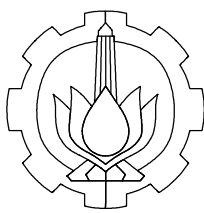


## BODY PLAN



### PRINCIPLE DIMENSIONS

SHIP TYPE	PROTOTYPE
DISPLACEMENT	36 kg
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS (Lpp)	2.2 m
BREADTH (B)	0.4 m
HEIGHT (H)	0.385 m
DRAUGHT (T)	0.135 m
BLOCK COEFFICIENT (Cb)	0.317
SERVICE SPEED (Vs)	5 m/s



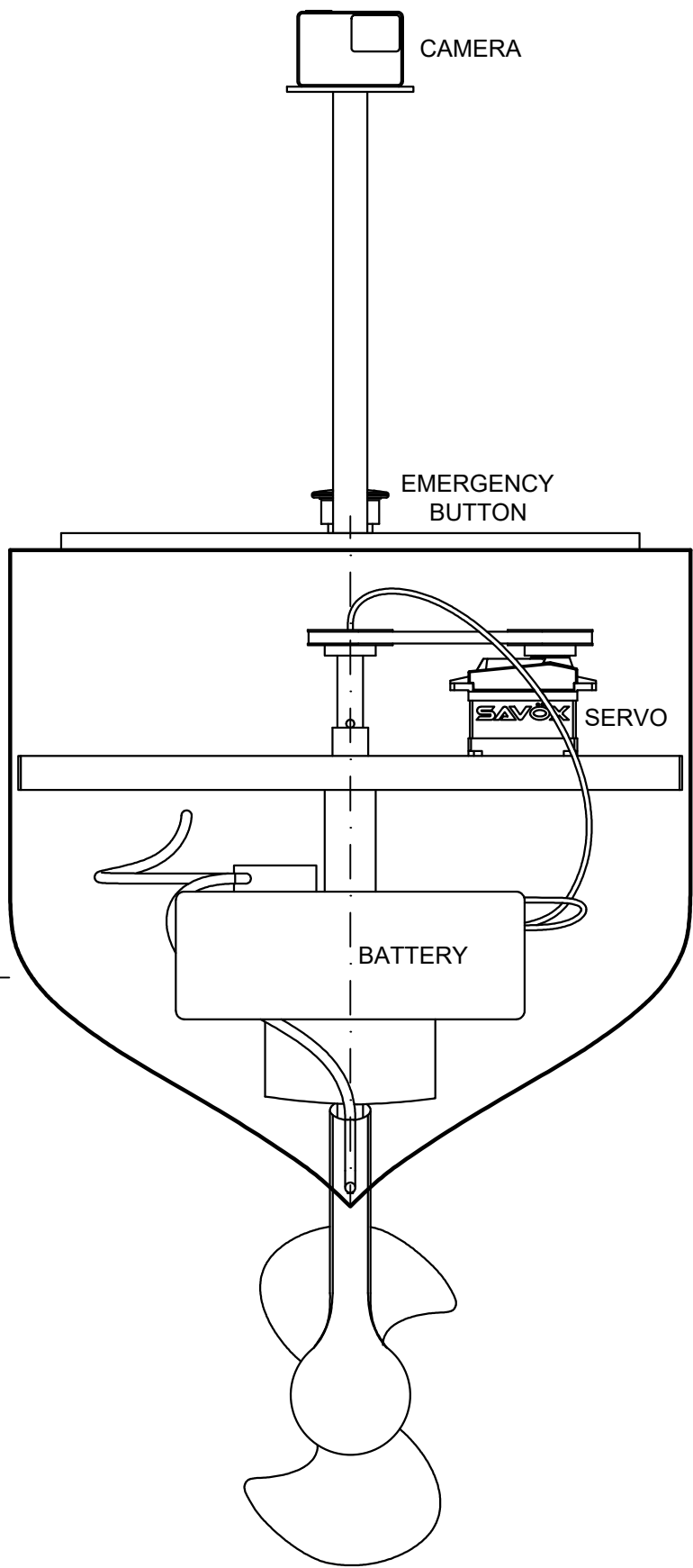
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

M.V. LIGHT HYDRONE 2018

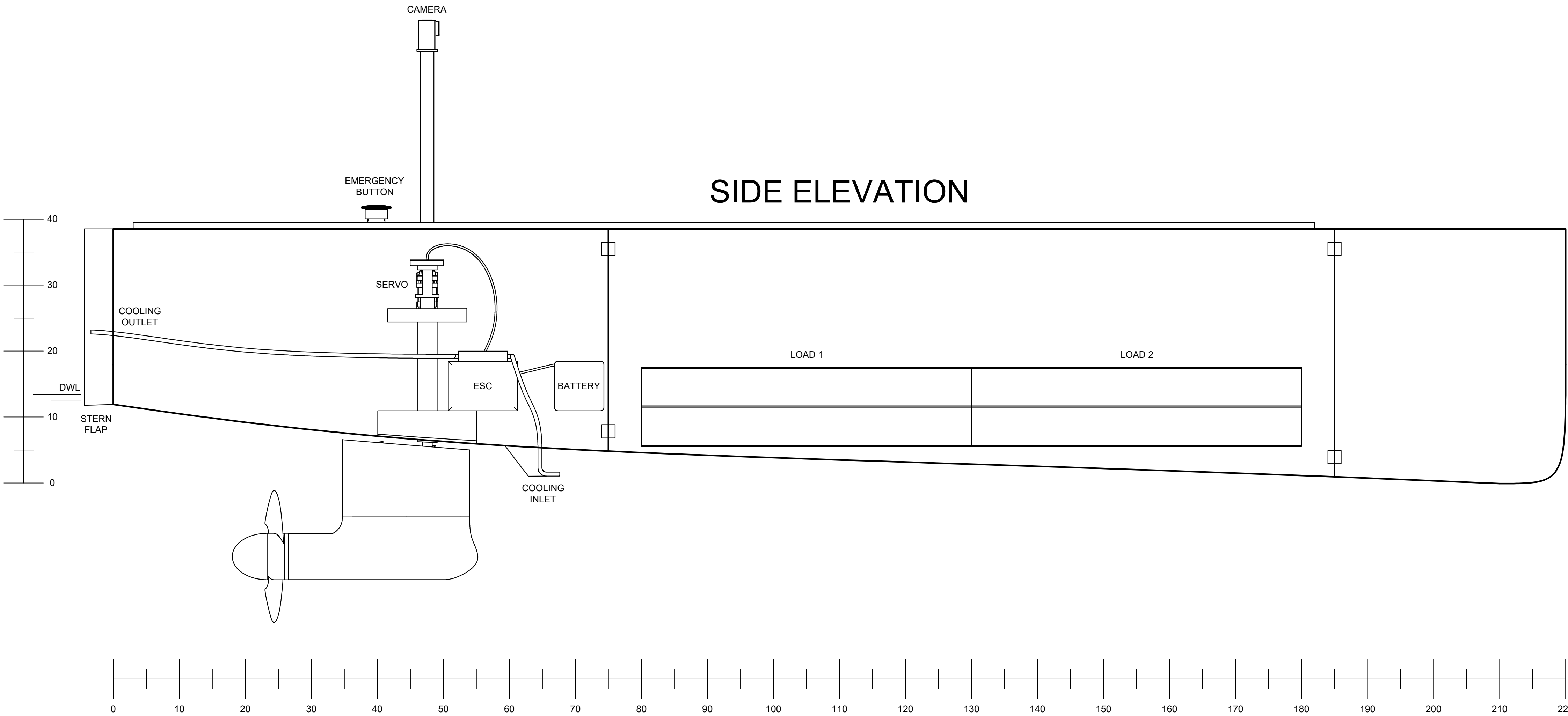
LINES PLAN

SCALE	1:40	SIGNATURE	DATE	REMARKS
DRAWN	Pieter Mario Fernandez			4114100031
APPROVED	Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.			A1

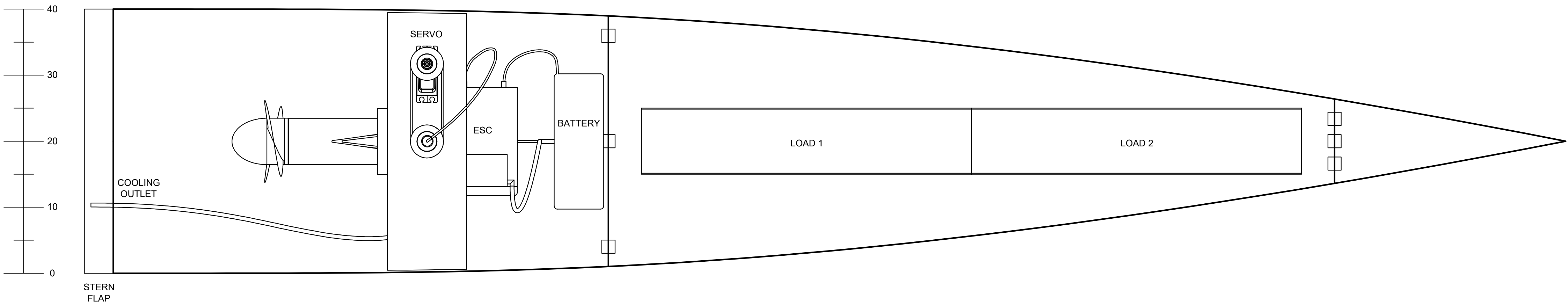
FRONT ELEVATION



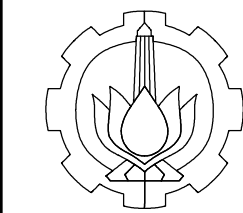
SIDE ELEVATION



TOP VIEW



PRINCIPLE DIMENSIONS		
SHIP TYPE	PROTOTYPE	
DISPLACEMENT	36	kg
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS (Lpp)	2.2	m
BREADTH (B)	0.4	m
HEIGHT (H)	0.385	m
DRAUGHT (T)	0.135	m
BLOCK COEFFICIENT (Cb)	0.317	
SERVICE SPEED (Vs)	5	m/s



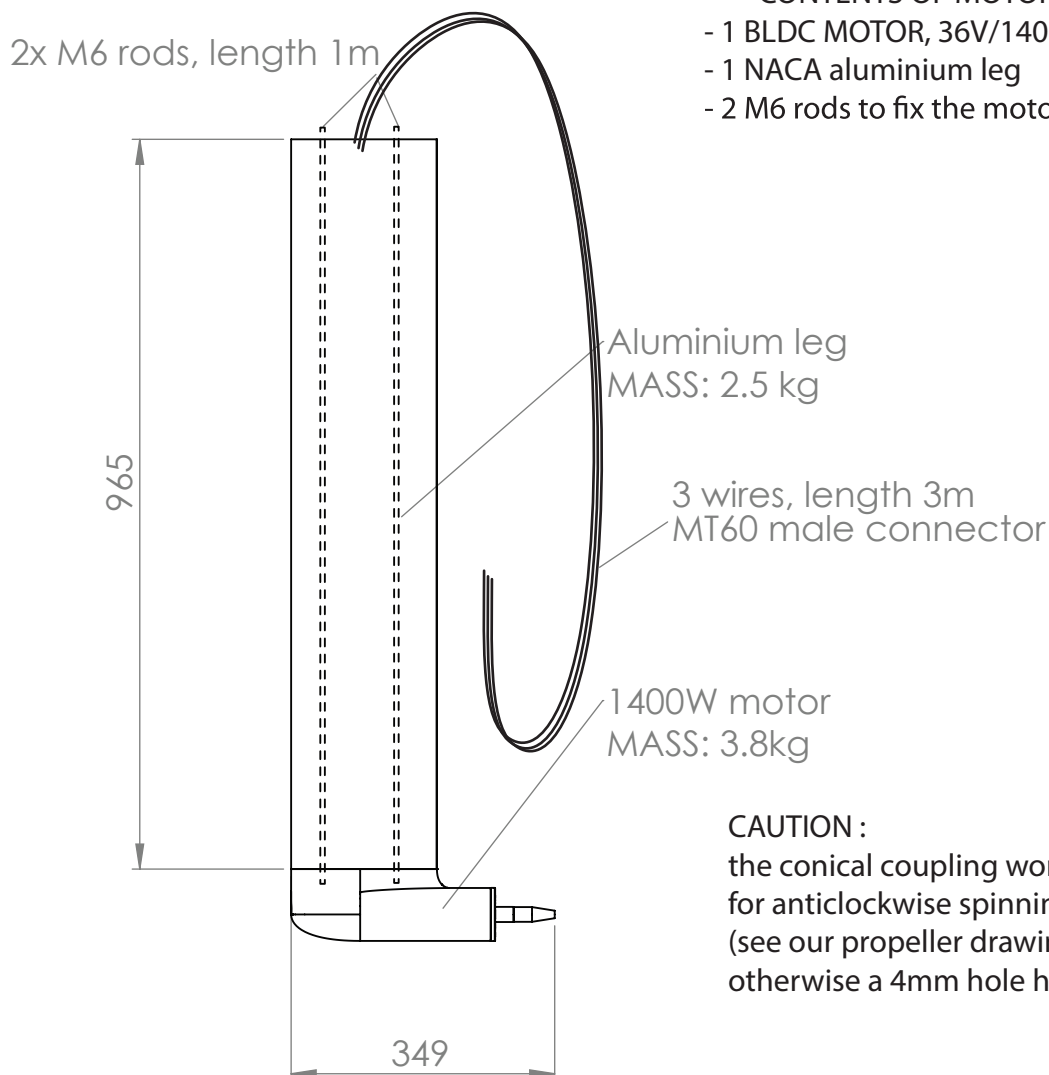
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

M.V. LIGHT HYDRONE 2018  
GENERAL ARRANGEMENT

SCALE	1:40	SIGNATURE	DATE	REMARKS
DRAWN	Pieter Mario Fernandez			4114100031
APPROVED	Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.			A1

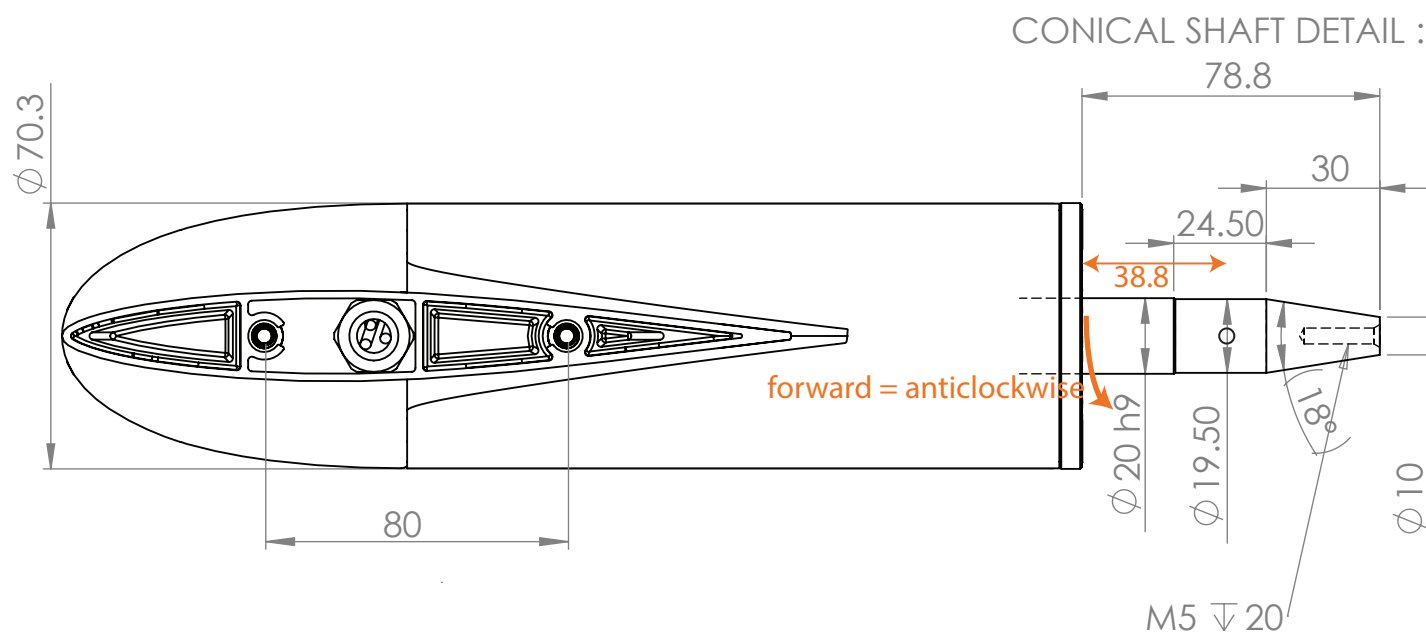
# CONTENTS OF MOTOR PACK PROVIDED BY HYDROS

- 1 BLDC MOTOR, 36V/1400W
- 1 NACA aluminium leg
- 2 M6 rods to fix the motor



## CAUTION :

the conical coupling works only  
for anticlockwise spinning propeller in forward  
(see our propeller drawing for reference)  
otherwise a 4mm hole has been added on the shaft



DATE:	01/04/2017
TITRE:	1400W/36V MOTOR PACK for HYDROCONTEST 2017 ref: A-000000-00371

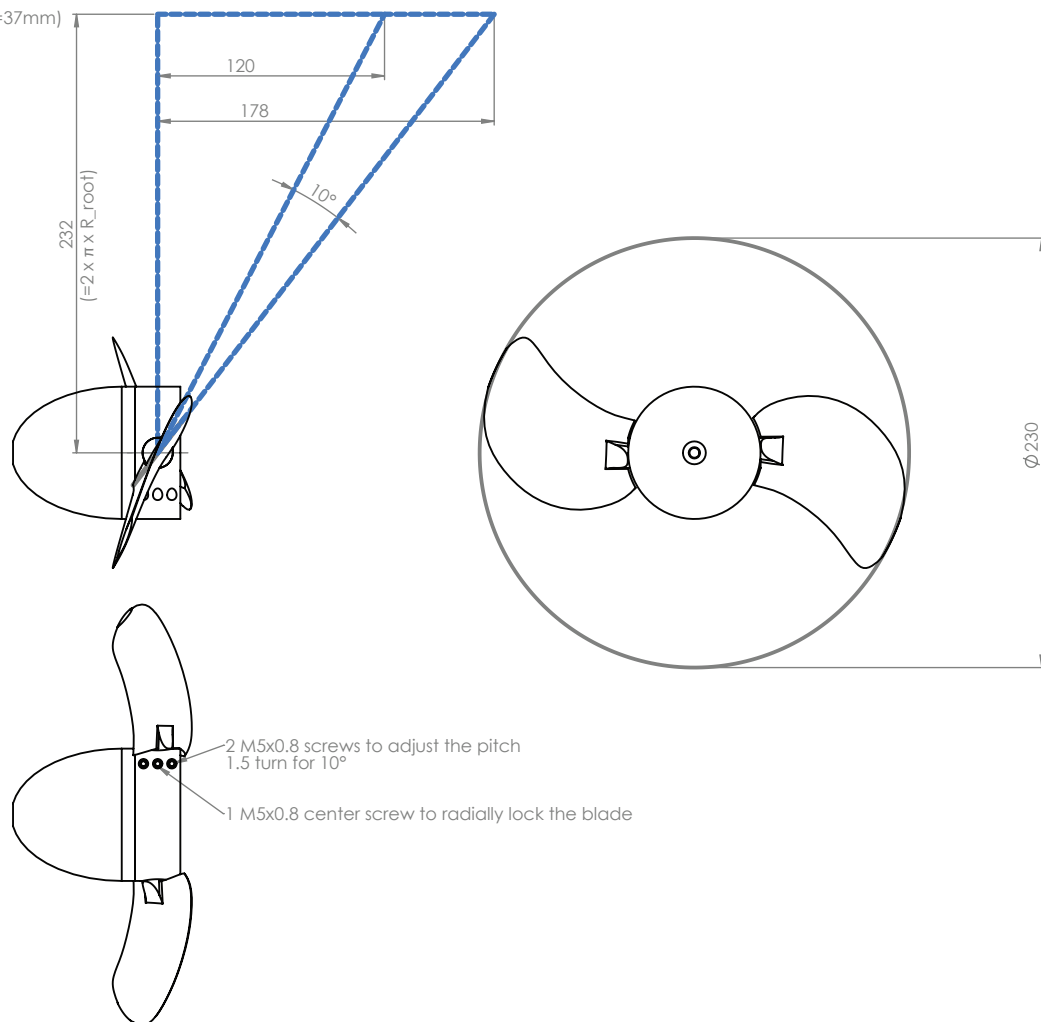
**watt&sea®**

**AUTONOMY THANKS TO RENEWABLE ENERGY**

15 rue de la Brigantine - 17000 La Rochelle - FRANCE  
tél +33(0)5 46 41 31 99 - contact@wattandsea.com - www.wattandsea.com  
SARL au capital de 231 400€ - Siret : 514 026 467 00019 - NAF : 7112B

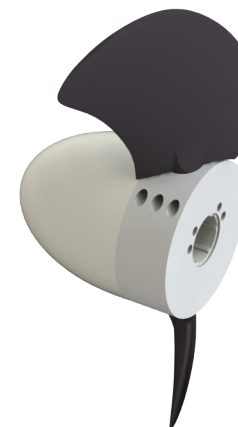


PITCH AT THE ROOT ( $R_{\text{root}}=37\text{mm}$ )  
P MIN = 120mm  
P MAX = 178mm



PROPELLER CHARACTERISTICS  
OPEN-WATER CONDITIONS

J	KT @ P=120mm	10.KQ @	$\eta$ @ P=120mm
0,5776	0,0081	0,0334	22,2%
0,5054	0,0304	0,0517	47,3%
0,4493	0,0467	0,0641	52,1%
0,4043	0,0592	0,0729	52,3%
0,3676	0,0691	0,0794	50,9%
J	KT @ P=147mm	10.KQ @	$\eta$ @ P=147mm
0,6739	0,0375	0,0729	55,2%
0,5776	0,0668	0,1025	59,9%
0,5054	0,0882	0,1223	58,0%
0,4493	0,1047	0,1366	54,8%
0,4043	0,1176	0,1477	51,2%
J	KT @ P=178mm	10.KQ @	$\eta$ @ P=178mm
0,6739	0,1007	0,1715	63,0%
0,5776	0,1326	0,2094	58,2%
0,5054	0,1575	0,2388	53,1%
0,4493	0,1763	0,2616	48,2%
0,4043	0,1908	0,2794	43,9%



CONFIDENTIAL INFORMATION  
FOR HYDROCONTEST USE ONLY

DATE:	23/11/2015
TITLE:	ADJUSTABLE PROP FOR HYDROCONTEST 2016

watt&sea®

AUTONOMY THANKS TO RENEWABLE ENERGY

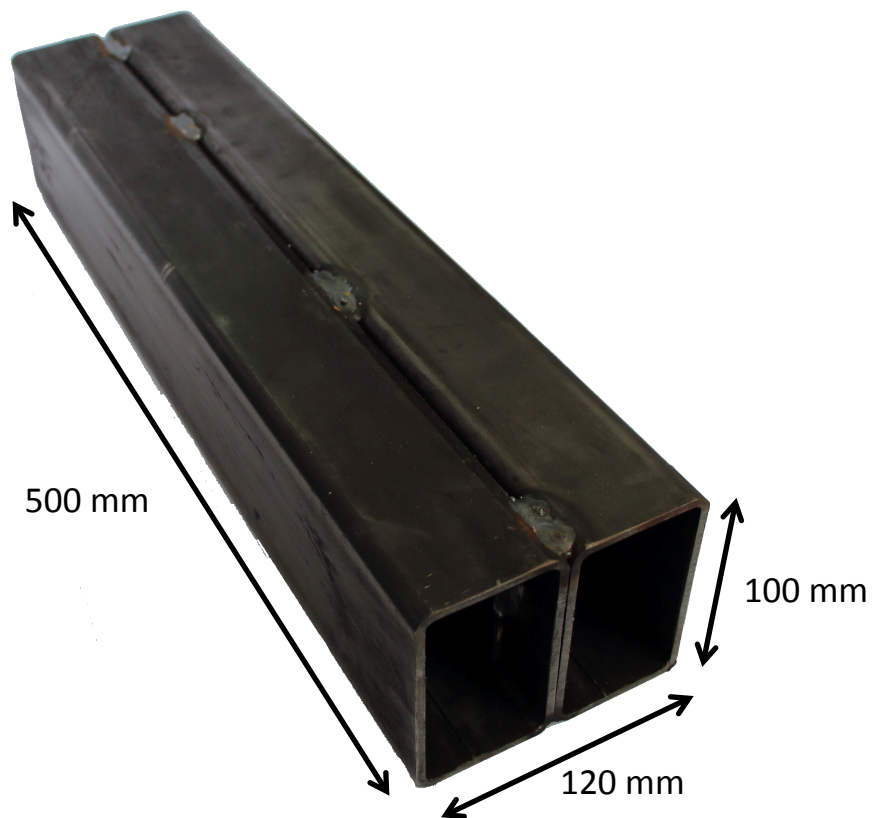
15 rue de la Brigantine - 17000 La Rochelle - FRANCE  
tel +33(0)5 46 41 31 99 - contact@wattandsea.com - www.wattandsea.com  
SARL au capital de 231 400€ - Siret : 514 026 467 00019 - NAF : 7112B

**APPENDIX 2 TO THE RULES: LOADS TO BE CARRIED (Art. 11)**

The load elements are all identical and used for all competitions. They will be given to the Teams by the Organiser upon their arrival at the Event.

Characteristics:

- Unit weight: 10 kg
- Dimensions per unit: L 500 mm / I 120 mm / H 100 mm



Parameter	Hull Model			Units
	Conventional Bow	Vertical Bow	Axe Bow	
Displacement	36	36	36	kg
LOA	2.2	2.2	2.2	m
Breadth	0.4	0.4	0.4	m
Height	0.3	0.3	0.3	m
Draft Amidships	0.105	0.100	0.095	m
WL Length	2.071	2.2	2.2	m
Immersed depth	0.105	0.1	0.135	m
Volume (displaced)	0.035	0.035	0.035	m^3
Beam max extents on WL	0.386	0.38	0.374	m
Wetted Area	0.761	0.798	0.8	m^2
Max sect. area	0.024	0.023	0.022	m^2
Waterpl. Area	0.604	0.636	0.592	m^2
Prismatic coeff. (Cp)	0.696	0.707	0.731	
Block coeff. (Cb)	0.418	0.419	0.316	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.715	0.709	0.701	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.756	0.76	0.72	
LCB length	0.947	1.032	1.037	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	0.823	0.882	0.853	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	45.74	46.907	47.115	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	39.764	40.084	38.776	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	0.07	0.066	0.058	m
BMt	0.171	0.174	0.148	m
BML	4.454	5.374	4.864	m
GMt corrected	0.24	0.24	0.206	m
GML	4.524	5.44	4.922	m
KMt	0.24	0.24	0.206	m
KML	4.524	5.44	4.922	m
Immersion (TPc)	0.006	0.007	0.006	tonne/cm
MTc	0.001	0.001	0.001	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	0.151	0.151	0.129	kg.m
Length:Beam ratio	5.365	5.783	5.884	
Beam:Draft ratio	3.676	3.805	2.77	
Length:Vol^0.333 ratio	6.323	6.719	6.718	
Precision	Highest	Highest	Highest	211 stations

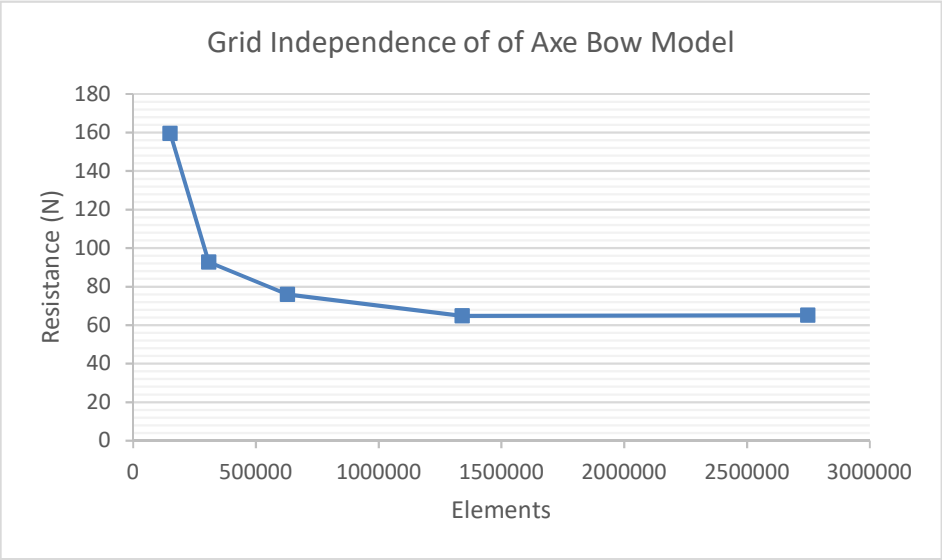
HYDRONE 2017 Hull Weight (Fiberglass)		
Hull Weight	16	kg
Hull Surface Area	4.04	m2
Lamination	3	layers
Lamination Weight	1.32	kg/layer.m2

HYDRONE 2018 Hull Weight (Fiberglass)		
Hull Surface Area	2.34	m2
Lamination	2	Layers
Hull Weight	6.19	kg

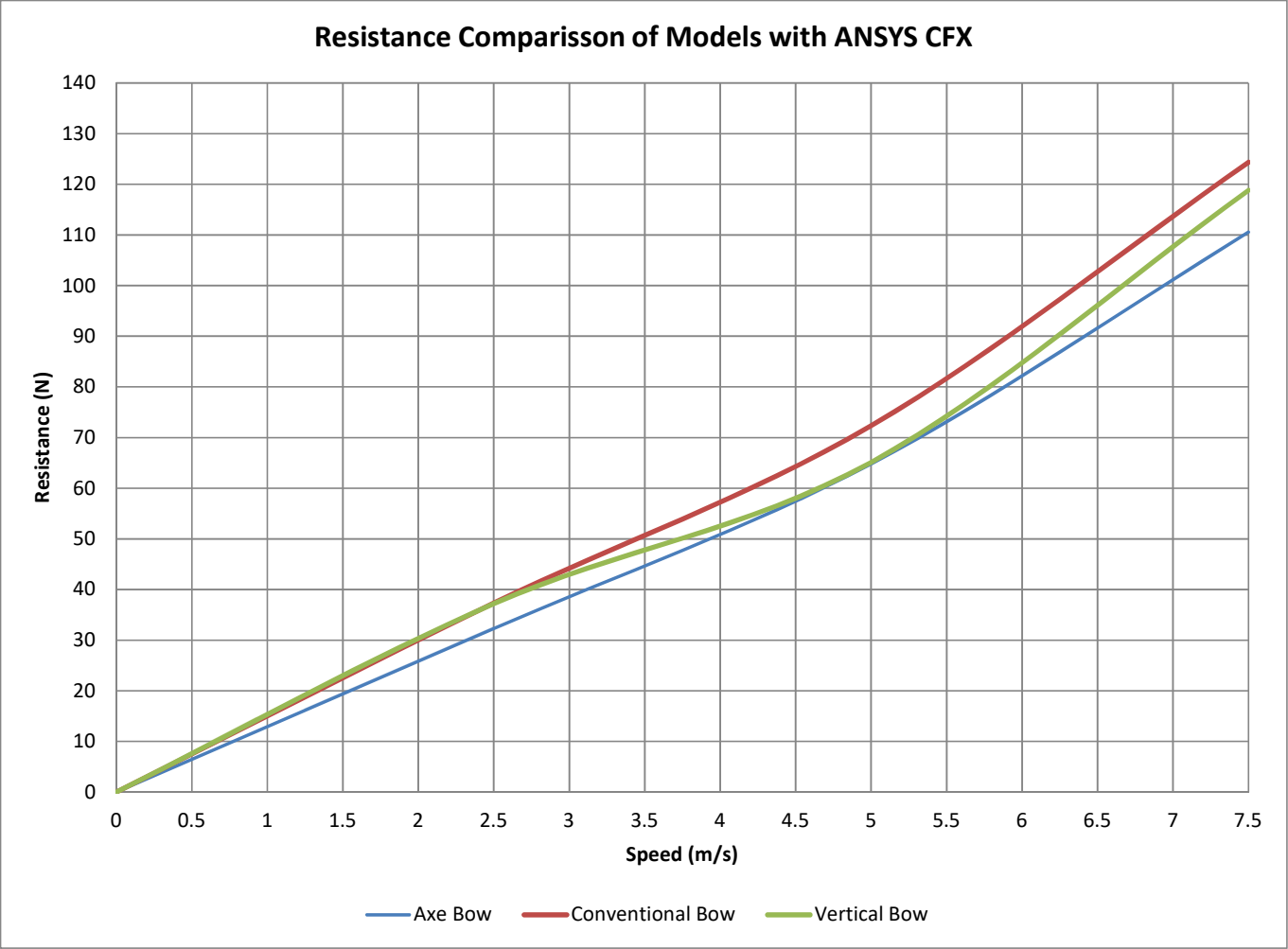
LWT Estimation		
Hull Weight	6.19	kg
Motor	6	kg
Propeller	0.3	kg
Strut/Rudder	1.1	kg
ESC	0.9	kg
Battery	2	kg
Servo	0.2	kg
<b>Total</b>	<b>16.69</b>	<b>kg</b>

Enclosure Dimensions			
Forward of Ship	3	m	(1.36 L)
Aft of Ship	6	m	(2.72 L)
Sides	3	m	(1.36 L)
Top	0.75	m	(0.34 L)
Bottom	3	m	(1.36 L)

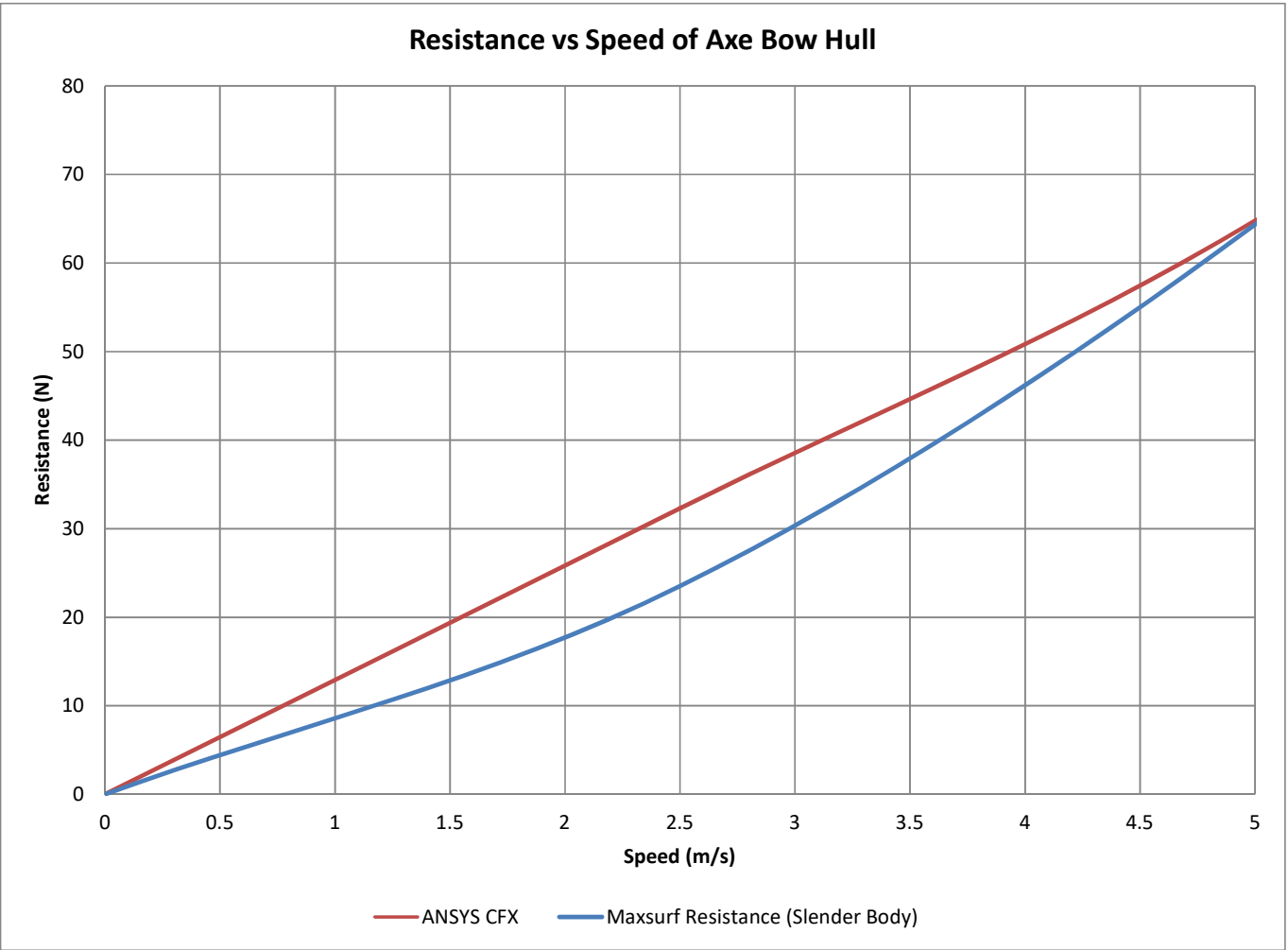
Grid Independence				
Speed	Elements	Growth	Resistance	Difference
(m/s)				
5	151150	-	159.522	41.8%
	308116	204%	92.7745	18.1%
	628317	204%	75.9513	14.7%
	1340039	213%	64.8086	0.4%
	2748493	205%	65.0538	-



Speed (m/s)	Fn	Conventional Bow	Vertical Bow	Axe Bow
		Resistance	Resistance	Resistance
		(N)	(N)	(N)
0	0.00	0	0	0
2.5	0.54	37.31	37.20	32.29
5	1.08	72.33	65.10	64.81
7.5	1.61	124.36	118.84	110.55



Speed	Fn	Axe Bow Hull Resistance	
		ANSYS CFX	Maxsurf Resistance (Slender Body)
		(N)	(N)
0	0.00	0	0
2.5	0.54	32.29	23.52
5	1.08	64.81	64.35
7.5	1.61	110.55	119.01



	Model		
	Lwl 1.9 m	Lwl 2.2 m	Lwl 2.5 m
Displacement (kg)	35.19	36.00	36.81
T (cm)	10.3	9.5	8.9
B/T	3.88	4.21	4.49
Slenderness Ratio	5.85	6.72	7.58

Speed (m/s)	Resistance		
0	0	0	0
0.1875	0.13	0.12	0.12
0.375	0.44	0.44	0.67
0.5625	0.95	0.97	1.19
0.75	1.7	1.71	1.85
0.9375	2.69	2.76	2.74
1.125	3.96	4.14	4.05
1.3125	6.78	5.53	5.3
1.5	7.38	7.53	8.19
1.6875	9.83	8.33	9.08
1.875	13.9	11.14	10.81
2.0625	18.06	15.06	14.08
2.25	21.99	18.97	17.76
2.4375	25.54	22.47	21.22
2.625	28.72	25.57	24.34
2.8125	31.66	28.42	27.2
3	34.47	31.16	29.95
3.1875	37.26	33.87	32.66
3.375	40.07	36.64	35.41
3.5625	42.95	39.47	38.23
3.75	45.9	42.4	41.13
3.9375	48.94	45.42	44.12
4.125	52.06	48.54	47.22
4.3125	55.27	51.76	50.42
4.5	58.56	55.07	53.72
4.6875	61.94	58.45	57.11
4.875	65.39	61.94	60.6
5.0625	68.93	65.5	64.17
5.25	72.55	69.14	67.84
5.4375	76.25	72.86	71.6
5.625	80.04	76.65	75.44
5.8125	83.89	80.54	79.36
6	87.84	84.48	83.37
6.1875	91.86	88.51	87.46
6.375	95.97	92.61	91.63
6.5625	100.15	96.8	95.89
6.75	104.43	101.05	100.23
6.9375	108.8	105.37	104.64
7.125	113.23	109.79	109.14
7.3125	117.75	114.28	113.73
7.5	122.37	118.83	118.38





Engine Efficiency	85	Sheet Propulsion
Propeller Efficiency	0.552	Sheet Propulsion
Efficiency	46.92	
Appendage Drag	5%	(Molland)

Speed (m/s)	Fn	Naked Hull Resistance (N)	Total Resistance (N)
0	0.00	0	0
2.5	0.54	32.29	33.90072
5	1.08	64.81	68.04903
7.5	1.61	110.55	116.0796

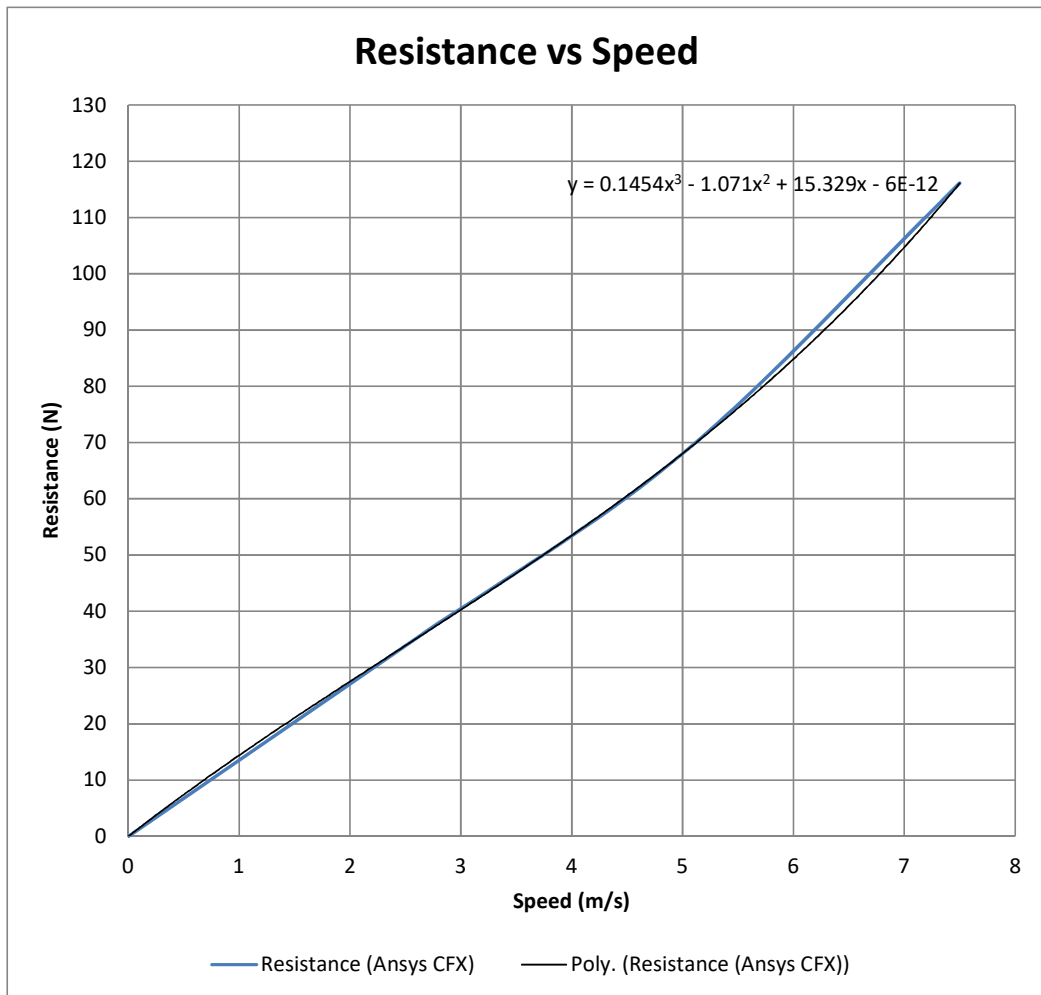


Table 3.2. Resistance of appendages, as a percentage of hull naked resistance	
Item	% of naked resistance
Bilge keels	2–3
Rudder	up to about 5 (e.g. about 2 for a cargo vessel) but may be included in hull resistance tests
Stabiliser fins	3
Shafting and brackets, or bossings	6–7
Condenser scoops	1

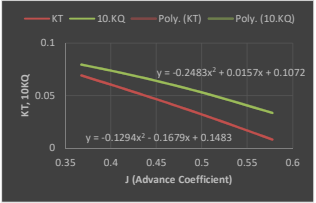
RPM OPTIMIZATION

Propeller	Watt&Sea APP
Propeller Diameter	0.23 m
Motor Maximum Power	1400 Watt
Motor Efficiency	85 %
Motor Voltage	36 V
Motor Maximum RPM	3000
Battery Capacity	7.8 A.h
System Additional Current	2 A
Water Density	1025 kg/m3
Race Course	400 m
Race Maximum Duration	60 minutes



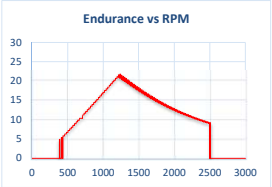
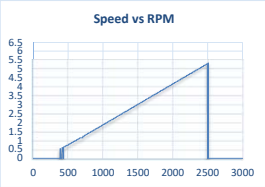
Open Water Test Data			
J	KT	10.KQ	Efficiency
0.5776	0.0081	0.0334	0.222
0.5054	0.0304	0.0517	0.473
0.4493	0.0467	0.0641	0.521
0.4043	0.0592	0.0729	0.523
0.3676	0.0691	0.0794	0.509

RPM	Speed	Endurance
2507	[m/s]	[Laps]
	5.35	9.2672772



Speed	J	KT	10.KQ	Q	Power	Thrust	Resistance	T-R	Criteria	vs	I	I Total	Endurance	Taken	Endurance
[m/s]				[N . m]	[Watt]	[N]	[N]	[N]		[m/s]	[A]	[A]	[minutes]	[minutes]	[Laps]
0	0.00	0.15	0.11	12.35	3813.54	742.65	0.00	742.65	-	0	105.93	107.93	4.34	4.34	0.0
0.05	0.01	0.15	0.11	12.36	3816.20	738.26	0.76	737.49	-	0	106.01	108.01	4.33	4.33	0.0
0.1	0.01	0.15	0.11	12.36	3818.39	733.83	1.52	732.31	-	0	106.07	108.07	4.33	4.33	0.0
0.15	0.02	0.15	0.11	12.37	3820.10	729.37	2.28	727.09	-	0	106.11	108.11	4.33	4.33	0.0
0.2	0.02	0.14	0.11	12.37	3821.34	724.87	3.02	721.84	-	0	106.15	108.15	4.33	4.33	0.0
0.25	0.03	0.14	0.11	12.37	3822.09	720.34	3.77	716.57	-	0	106.17	108.17	4.33	4.33	0.0
0.3	0.03	0.14	0.11	12.38	3822.36	715.77	4.51	711.26	-	0	106.18	108.18	4.33	4.33	0.0
0.35	0.04	0.14	0.11	12.37	3822.16	711.17	5.24	705.93	-	0	106.17	108.17	4.33	4.33	0.0
0.4	0.04	0.14	0.11	12.37	3821.48	706.53	5.97	700.56	-	0	106.15	108.15	4.33	4.33	0.0
0.45	0.05	0.14	0.11	12.37	3820.32	701.86	6.69	695.16	-	0	106.12	108.12	4.33	4.33	0.0
0.5	0.05	0.14	0.11	12.36	3818.69	697.15	7.41	689.73	-	0	106.07	108.07	4.33	4.33	0.0
0.55	0.06	0.14	0.11	12.36	3816.57	692.40	8.13	684.27	-	0	106.02	108.02	4.33	4.33	0.0
0.6	0.06	0.14	0.11	12.35	3813.98	687.63	8.84	678.78	-	0	105.94	107.94	4.34	4.34	0.0
0.65	0.07	0.14	0.11	12.34	3810.90	682.81	9.55	673.26	-	0	105.86	107.86	4.34	4.34	0.0
0.7	0.07	0.14	0.11	12.33	3807.35	677.97	10.26	667.71	-	0	105.76	107.76	4.34	4.34	0.0
0.75	0.08	0.13	0.11	12.31	3803.33	673.08	10.96	662.13	-	0	105.65	107.65	4.35	4.35	0.0
0.8	0.08	0.13	0.11	12.30	3798.82	668.16	11.65	656.51	-	0	105.52	107.52	4.35	4.35	0.0
0.85	0.09	0.13	0.11	12.28	3793.84	663.21	12.35	650.87	-	0	105.38	107.38	4.36	4.36	0.0
0.9	0.09	0.13	0.11	12.27	3788.37	658.22	13.03	645.19	-	0	105.23	107.23	4.36	4.36	0.0
0.95	0.10	0.13	0.11	12.25	3782.43	653.20	13.72	639.48	-	0	105.07	107.07	4.37	4.37	0.0
1	0.10	0.13	0.11	12.23	3776.01	648.14	14.40	633.74	-	0	104.89	106.89	4.38	4.38	0.0
1.05	0.11	0.13	0.11	12.20	3769.12	643.05	15.08	627.96	-	0	104.70	106.70	4.39	4.39	0.0
1.1	0.11	0.13	0.11	12.18	3761.74	637.92	15.76	622.16	-	0	104.49	106.49	4.39	4.39	0.0
1.15	0.12	0.13	0.11	12.15	3753.89	632.75	16.43	616.32	-	0	104.27	106.27	4.40	4.40	0.0
1.2	0.06	0.14	0.11	12.35	3814.81	689.07	17.10	671.96	-	0	105.97	107.97	4.33	4.33	0.0
1.25	0.13	0.12	0.11	12.10	3736.74	622.32	17.77	604.55	-	0	103.80	105.80	4.42	4.42	0.0
1.3	0.14	0.12	0.10	12.07	3727.45	617.05	18.44	598.61	-	0	103.54	105.54	4.43	4.43	0.0
1.35	0.14	0.12	0.10	12.04	3717.69	611.75	19.10	592.65	-	0	103.27	105.27	4.45	4.45	0.0
1.4	0.15	0.12	0.10	12.00	3707.44	606.41	19.76	586.65	-	0	102.98	104.98	4.46	4.46	0.0
1.45	0.15	0.12	0.10	11.97	3696.72	601.03	20.42	580.62	-	0	102.69	104.69	4.47	4.47	0.0
1.5	0.16	0.12	0.10	11.93	3685.52	595.62	21.07	574.55	-	0	102.38	104.38	4.48	4.48	0.0
1.55	0.16	0.12	0.10	11.89	3673.84	590.18	21.73	568.45	-	0	102.05	104.05	4.50	4.50	0.0
1.6	0.17	0.12	0.10	11.86	3661.68	584.70	22.38	562.32	-	0	101.71	103.71	4.51	4.51	0.0

PLOT

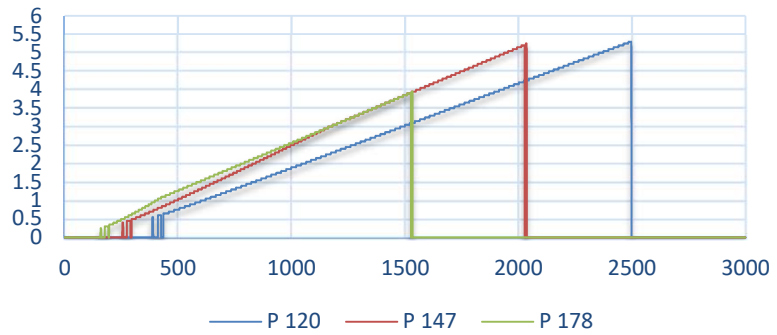


RPM	vs	Endurance
	[m/s]	[Laps]
0		
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0

Max Speed	5.35 m/s
RPM	2507
Max Endurance	22 laps
RPM	1239

# PLOT

Speed vs RPM



Endurance vs RPM

